

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С  
ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)(19) ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
Международное бюро(43) Дата международной публикации:  
24 июля 2003 (24.07.2003)(10) Номер международной публикации:  
WO 03/060932 A1(51) Международная патентная классификация<sup>2</sup>:  
H01F 7/08, 7/122, 7/14, 7/16

(21) Номер международной заявки: PCT/UA02/00068

(22) Дата международной подачи:  
26 декабря 2002 (26.12.2002)

(25) Язык подачи: русский

(26) Язык публикации: русский

(30) Данные о приоритете:  
2001129236 29 декабря 2001 (29.12.2001) UA  
10/019,405 28 декабря 2001 (28.12.2001) US  
10/092,523 11 июля 2001 (11.07.2001) US

(71) Заявитель и

(72) Изобретатель: БАБИЧ Николай Сергеевич  
[UA/UA]; 02091 Киев-91, Харьковское шоссе, д.  
160а, кв. 182 (UA) [BABICH, Nikolai Sergeevich,  
Moscow (UA)].(74) Агент: ДОЛИНСКАЯ Елена Владимировна;  
03087 Киев-87, а/я 36 (UA) [DOLINSKAYA, Elena  
Vladimirovna, Kiev (UA)].(81) Указанные государства (национально): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH,CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ,  
EE, EC, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID,  
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR,  
LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,  
MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD,  
SE, SG, SK, SI, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,  
US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) Указанные государства (регионально): ARIPO па-  
тент (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SI, SZ, TZ,  
UG, ZM, ZW), евразийский патент (AM, AZ, BY,  
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), европейский патент  
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,  
GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR),  
патент OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,  
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

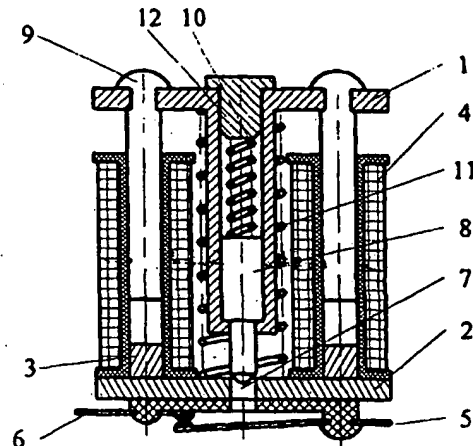
Опубликована

С отчётом о международном поиске.

Декларация в соответствии с правилом 4.17:

Об авторстве изобретения (правило 4.17 (iv))  
только для USВ отношении двухбуквенных кодов, кодов языков и дру-  
гих сокращений см. «Пояснения к кодам и сокращениям»,  
публикуемые в начале каждого очередного выпуска Бюл-  
летеня РСТ.(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING FLUX OF ELECTROMAGNET AND AN ELECTROMAGNET FOR  
CARRYING OUT SAD METHOD (VARIANTS)(54) Название изобретения: СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТА И  
ЭЛЕКТРОМАГНИТ, РЕАЛИЗУЮЩИЙ СПОСОБ (ВАРИАНТЫ)

(57) Abstract: The group of inventions relates to magnetic systems, in particular to a method for controlling the flux of electromagnet and to the structural design of an electromagnet which is used for carrying out said method. The inventive structures of the electromagnet can be mainly used for electromechanical actuating devices and comprise a magnetic coil provided with a composite magnetic core made at least partially of hard-magnetic material and provided at least with one air gap. The novelty of the invention lies in that the composite magnetic core is embodied in such a way that it has at least two stable magnetic states, said magnetic core has each said state (the air gap being minimised) as a result of the action of control current pulses supplied to the magnetic coil winding and having different (opposite) polarities, respectively. The specified values of the magnetic flux correspond to the stable states of the magnetic core of the electromagnet when it is devoid of electric current in the magnetic coil winding thereof. Said invention makes it possible to essentially increase the efficiency of the electromagnet by increasing the attractive and holding forces thereof, improving the mass and dimensional characteristics and the operational safety thereof, and also by energy saving and extending the functional capabilities of said structural design of the inventive electromagnet which uses the inventive method for controlling the magnetic flux.



[Продолжение на след. странице]



---

(57) Реферат: Заявленная группа изобретений относится к магнитным системам, а именно к способу управления магнитным потоком электромагнита, а также к конструкциям электромагнита, реализующим этот способ.

Предложенные конструкции электромагнита предназначены для использования преимущественно в исполнительных устройствах электромеханики и содержат катушку намагничивания с составным магнитопроводом, выполненным, по меньшей мере, частично из магнитотвердого материала и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором.

Новизна изобретения заключается в том, что составной магнитопровод выполнен таким образом, что имеет, по меньшей мере, два устойчивых состояния намагниченности, в каждое из которых (после минимизации воздушного зазора) он попадает в результате воздействия управляющих импульсов электрического тока, соответственно, разной (противоположной) полярности подаваемых в обмотку катушки намагничивания.

Устойчивым состоянием магнитопровода электромагнита соответствуют определенные значения магнитного потока без протекания электрического тока по обмотке катушки намагничивания.

Это обеспечивает технический результат, заключающийся в существенном повышении эффективности электромагнита за счет повышения притягивающего и удерживающего усилий электромагнита, существенного улучшения массо-габаритных характеристик, повышения безотказности в работе, а также за счет сбережения электроэнергии и, кроме того, за счет расширения функциональных возможностей электромагнита предложенной конструкции, использующей предложенный способ управления магнитным потоком.

## СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТА И ЭЛЕКТРОМАГНИТ, РЕАЛИЗУЮЩИЙ СПОСОБ (ВАРИАНТЫ)

Группа изобретений относится к магнитным системам, а именно к способу управления магнитным потоком электромагнита, а также к конструкциям электромагнита, реализующих этот способ.

Предложенная группа изобретений может быть использована преимущественно в исполнительных устройствах электромеханики, в частности, в магнитных пускателях, контакторах и вакуумных переключателях, запорных устройствах для блокирования замков сейфов, автомобилей, дверей и т.п. устройствах с целью предотвращения несанкционированного проникновения, а также в обгонных муфтах, муфтах сцепления, тормозных механизмах и прочих конструкциях.

В указанных конструкциях электромагнит, выполняющий функцию электромеханического привода, содержит катушку намагничивания на магнитопроводе из ферромагнитного материала, по меньшей мере, с одним воздушным зазором. При подаче напряжения на обмотку катушки намагничивания ферромагнитного материала магнитопровода возбуждаемый в магнитопроводе магнитный поток притягивает подвижный якорь. При снятии напряжения с обмотки катушки намагничивания магнитный поток исчезает, вследствие чего исчезает притягивающее якорь усилие, и под действием возвратной пружины якорь возвращается в первоначальное положение.

Известен способ управления магнитным потоком электромагнита с релейной тяговой характеристикой, определяемой устойчивыми уровнями значений магнитного потока в магнитопроводе, выполненном, по меньшей мере, частично из магнитотвердого материала и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, путем подачи управляющих импульсов электрического тока в обмотку катушки намагничивания с возможностью получения притягивающего усилия подвижной части магнитопровода - якоря электромагнита – см., например, DE № 19639545 A<sub>1</sub> от 18.12.1997 г., заявитель ICON AG PRAZISIONSTECHNIK [1].

Известный способ недостаточно эффективен. Это связано с тем, что при управлении магнитным потоком в магнитопроводе, согласно способу, не обеспечивают замыкания магнитной цепи магнитопровода электромагнита, а фиксацию его подвижной части - якоря в крайних положениях осуществляют механическим путем, т.е. с использованием механических средств, а именно с помощью использования подпружиненных колец шариков, попадающих в соответствующие кольцевые канавки в конечных положениях подвижной части магнитопровода электромагнита. Результатом этого является сравнительно недостаточная эксплуатационная надежность из-за повышенного механического износа, что способствует повышению вероятности отказов в работе и снижению наработки на отказ, ограничивает величину тягового и притягивающего усилия.

Кроме того, известный способ не обеспечивает минимизации воздушного зазора и, соответственно, замыкания магнитной цепи магнитопровода.

Наиболее близким по технической сути и достигаемому результату к заявленному способу является способ управления магнитным потоком электромагнита с релейной тяговой характеристикой, определяемой устойчивыми уровнями значений магнитного потока в магнитопроводе, выполненном, по меньшей мере, частично из магнитотвердого материала и, по меньшей мере, одним воздушным зазором, путем подачи управляющих импульсов электрического тока в обмотку катушки намагничивания с возможностью получения притягивающего усилия подвижной части магнитопровода - якоря электромагнита – см., например, европейский патент EP 0794540 A<sub>1</sub> от 10.09.1997 г., заявитель HARTING KGaA, CNJK, TW 2 CNJRB **ПРОТОТИП** [2].

В известном способе управления магнитным потоком электромагнита частично устранены указанные выше недостатки, вследствие чего он обеспечивает более высокую эксплуатационную надежность. Однако эффективность известного способа продолжает оставаться сравнительно недостаточной из-за сравнительно недостаточных функциональных возможностей электромагнита. Это связано с тем, что известный способ также не обеспечивает замыкания магнитной цепи магнитопровода электромагнита вследствие постоянного наличия воздушного зазора в магнитной цепи магнитопровода. Кроме того, известный способ не может также обеспечить возможности перемагничивания, размагничивания магнитотвердого материала магнитопровода или иного на него воздействия при изменении магнитного потока в магнитопроводе, создаваемого катушкой намагничивания.

Известен электромagnet исполнительного устройства, преимущественно магнитного привода, который выполнен в виде, по меньшей мере, одной катушки намагничивания на составном магнитопроводе с неподвижным статором, подвижным якорем и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, при этом, по меньшей мере, часть магнитопровода выполнена в виде вставки из магнитотвердого материала с возможностью управления магнитным потоком в магнитопроводе путем его перемангничивания за счет подачи кратковременных разнополярных импульсов тока в обмотку катушки намагничивания – см., например, DE № 19639545 A<sub>1</sub> от 18.12.1997 г., заявитель ICON AG PRAZISIONSTECINIC [3].

Известный электромagnet не обеспечивает замкнутой металлической конструкции, вследствие чего его эффективность снижена за счет достаточно высоких магнитных потоков рассеяния, а также весьма значительных затрат магнитной энергии в воздушном зазоре. Кроме того, конструкция известного электромagnита не обладает свойством “магнитной памяти” (здесь и далее по тексту термин “магнитная память” использован для пояснения способности составного магнитопровода аккумулировать магнитную энергию на уровне магнитного потока, созданного катушкой намагничивания).

Известен также электромagnet электромагнитного привода исполнительного устройства, преимущественно магнитного привода, который выполнен в виде, по меньшей мере, одной катушки намагничивания на составном магнитопроводе с неподвижным статором, подвижным якорем и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, при этом, по меньшей мере, часть магнитопровода выполнена в виде вставки из магнитотвердого материала с возможностью управления магнитным потоком в магнитопроводе путем его перемангничивания за счет подачи кратковременных разнополярных импульсов тока в обмотку катушки намагничивания – см., например, европейский патент EP 0794540 A<sub>1</sub> от 10.09.1997 г., заявитель HARTING KGaA, CNJK. TW 2 CNIJRB [4].

В известной конструкции указанного электромagnита часть якоря выполнена из магнитотвердого материала. Однако этот составной магнитопровод известного электромagnита не обеспечивает замкнутой цепи магнитопровода из-за наличия подшипника скольжения между якорем и крышкой, а также наличия вследствие этого постоянного воздушного зазора в магнитопроводе. Кроме того, эффективность известного электромagnита недостаточна из-за того, что вставка из постоянного магнита, использованная в его магнитопроводе, установлена со строгой ориентацией его магнитных полюсов, а именно “S” и “N”, что вызывает “прилипание” якоря к площадке на

доньшке цилиндра. Вследствие этого, а также из-за наличия, кроме того, параллельной ветви магнитопровода из магнитомягкого материала, проходящей через середину постоянного магнита - магнитной вставки кольцевой формы, магнитотвердый материал его магнитопровода не переманчивается, т.е. не размагничивается. и вследствие этого вообще не подвергается какому-либо управляющему воздействию на магнитотвердый материал со стороны катушки намагничивания, поскольку магнитный поток, создаваемый катушкой намагничивания, проходит в магнитопроводе по пути наименьшего магнитного сопротивления, а именно по пути наибольшей магнитной проводимости, которой обладает параллельная ветвь из магнитомягкого материала. Вследствие этого магнитопровод известного электромагнита не обладает свойством "обнуления" магнитного потока в магнитопроводе (здесь и далее по тексту описания изобретения – термин "обнуление" используется для случаев, когда магнитный поток равен нулю, т.е. для случаев  $\Phi=0$ ). Иными словами, при отсутствии импульса тока в обмотке катушки намагничивания величина магнитного потока в составном магнитопроводе известного электромагнита недостаточна для обеспечения необходимой силы притягивания подвижного якоря, поскольку притягивающее усилие в известном электромагните соответствует усилию, создаваемому простым биполярным постоянным магнитом. А отпущение якоря от доньшка, т.е. возврат якоря, обеспечивается путем создания катушкой намагничивания магнитного потока обратной, т.е. противоположной, направленности, который компенсирует магнитный поток, постоянно создаваемый магнитотвердой вставкой. Тем самым, известному электромагниту присущи такие недостатки, как сравнительно слабое удерживающее усилие, недостаточная надежность при эксплуатации, недостаточная функциональность.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к заявленному устройству является известный электромагнит электромагнитного привода исполнительного устройства, преимущественно магнитного привода, который выполнен в виде, по меньшей мере, одной катушки намагничивания на составном магнитопроводе с неподвижным статором, подвижным якорем и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором. при этом, по меньшей мере, часть магнитопровода выполнена в виде вставки из магнитотвердого материала с возможностью управления магнитным потоком в магнитопроводе путем его переманчивания за счет подачи кратковременных разнополярных импульсов тока в обмотку катушки намагничивания – см., например, международную заявку PCT/UA00/00005 H01F 7/16, 7/124, E05B 47/02, от 03.02.2000 г., заявитель Бабич Н.С. – ПРОТОТИП [5].

В упомянутой конструкции частично устранены указанные выше недостатки. Однако ее эффективность недостаточна вследствие того, что вставка из магнитотвердого материала размещена на подвижной части магнитопровода, т.е. на якоре. В связи с этим при перемещении якоря со вставкой из магнитотвердого материала относительно витков обмотки катушки намагничивания она индуцирует в обмотке ЭДС взаимной индукции, создающую в магнитопроводе электромагнитный поток, направленный навстречу основному, т.е. управляющему, потоку, созданному этой же обмоткой. При этом вектора указанных потоков практически равны по величине, хотя и сдвинуты по фазе. Вследствие этого снижается результирующая магнитодвижущая сила (далее по тексту - МДС) и создаваемое магнитной вставкой, притягивающее усилие. Таким образом, эксплуатационная эффективность известной конструкции электромагнита практически невелика. Кроме того, недостатком известной конструкции является то, что указанная ЭДС взаимной индукции не дает возможности обеспечить чистоту выключения магнитной системы электромагнита, т.к. при отключении и возврате якоря в исходное положение вставка из магнитотвердого материала, двигаясь относительно витков обесточенной катушки намагничивания, индуцирует в обмотке катушки электрический ток и намагничивается сама, т.е. не полностью "обнуляется", что может вызвать несанкционированное притягивание якоря.

В основу данного изобретения поставлена задача повышения эксплуатационной эффективности посредством снижения энергозатрат, посредством повышения надежности за счет сокращения отказов и увеличения наработки на отказ, посредством улучшения массо-габаритных показателей, а также посредством повышения функциональности электромагнита, т.е. расширения его функциональных возможностей.

Поставленная в изобретении задача решена тем, что в известном способе управления магнитным потоком электромагнита с релейной тяговой характеристикой, определяемой устойчивыми уровнями значений магнитного потока в составном магнитопроводе, который по меньшей мере частично выполнен из магнитотвердого материала и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, путем подачи управляющих импульсов электрического тока в обмотку катушки намагничивания с возможностью получения притягивающего усилия подвижной части магнитопровода электромагнита, согласно изобретению, используют магнитотвердый материал, обладающий свойством сохранять, по меньшей мере, два устойчивых состояния намагниченности, а в качестве управляющих импульсов электротока в обмотку намагничивания составного магнитопровода электромагнита подают, по меньшей мере, два кратковременных импульса, при этом при

подаче первого импульса обеспечивают замыкание магнитной цепи магнитопровода и минимизацию его магнитного сопротивления за счет минимизации воздушного зазора магнитопровода с последующей максимизацией магнитного потока в магнитопроводе и его переходом в одно из устойчивых состояний, характеризующихся максимальным значением магнитного потока в магнитопроводе, соответствующим энергии управляющего импульсного воздействия, с возможностью пребывания составного магнитопровода электромагнита в этом устойчивом состоянии и обеспечением его удерживающего усилия до подачи другого управляющего импульса электротока. энергетическая характеристика которого по величине достаточна для перевода магнитопровода в другое устойчивое состояние, характеризующееся другой, соответствующей ему, величиной магнитного потока и другой, соответствующей ему, величиной удерживающего усилия.

Поставленная задача решена также тем, что подачу первого управляющего импульса тока в обмотку катушки намагничивания с последующей максимизацией магнитного потока в составном магнитопроводе осуществляют до минимизации воздушного зазора, а также и тем, что указанную подачу первого управляющего импульса тока в обмотку катушки намагничивания с последующей максимизацией магнитного потока в составном магнитопроводе осуществляют после минимизации воздушного зазора.

Поставленная в изобретении задача решена и тем, что величину управляющего магнитного потока в составном магнитопроводе электромагнита за счет первого управляющего импульса электротока в обмотке катушки намагничивания электромагнита до замыкания магнитной цепи магнитопровода обеспечивают на уровне ее оптимального значения, необходимого для создания притягивающего усилия электромагнита, и поддерживают его на этом уровне до ликвидации воздушного зазора и намагничивания материала магнитопровода, после чего снимают электрическое импульсное напряжение с обмотки катушки намагничивания, а удерживающее усилие электромагнита обеспечивают за счет "магнитной памяти" материала составного магнитопровода с возможностью получения при этом удерживающего усилия, величина которого составляет  $F \leq 0,98F_{\max}$ , где  $F_{\max}$  – максимальное значение магнитного потока, создаваемого обмоткой катушки намагничивания.

Поставленную задачу решают еще и тем, что необходимую мощность управляющих импульсов с возможностью обеспечения необходимого усилия электромагнита обеспечивают за счет изменения параметров управляющих импульсов, выбираемых из ряда, состоящего из амплитуды импульса, его длительности, его формы, их комбинации.

Кроме того, задачу, поставленную в изобретении, решают тем, что в обмотку катушки намагничивания подают второй управляющий импульс тока с иной, энергетической характеристикой в сравнении с характеристикой первого управляющего импульса и обеспечивают переход магнитопровода в одно из других устойчивых состояний – третье устойчивое состояние, характеризуемое соответствующей величиной магнитного потока в составном магнитопроводе и соответствующей величиной удерживающего усилия.

Задачу решают еще и тем, что обеспечивают переход магнитопровода в устойчивое состояние, характеризуемое величиной магнитного потока в магнитопроводе, равной нулю, путем подачи в обмотку катушки намагничивания управляющего импульса тока, обеспечивающего напряженность магнитного поля в магнитопроводе, равную коэрцитивной силе на кривой намагничивания, и соответствующую величину удерживающего усилия.

При этом одним из устойчивых состояний составного магнитопровода является его исходное состояние, характеризуемое магнитным потоком, величина которого равна исходному значению, и соответствующим ему значением удерживающего усилия.

При этом задачу решают также тем, что обеспечивают мощность  $P_2$  второго управляющего импульса тока противоположной полярности в 2÷5 раз меньше мощности полярности  $P_1$  первого управляющего импульса тока прямой полярности и составляет  $P_1 = (2÷5)P_2$ .

А длительности  $t_1$  первого управляющего импульса электротока прямой полярности и, соответственно,  $t_2$  второго управляющего импульса обратной полярности в обмотке катушки намагничивания и, соответственно, длительности импульсов магнитного потока в составном магнитопроводе электромагнита обеспечивают такой величины, которая не превышает величины утроенной постоянной времени  $\tau$  переходного процесса для массы подвижной части магнитопровода, т.е.  $t_1 \leq 3\tau$  и  $t_2 \leq 3\tau$ , где  $\tau$  - постоянная времени переходного процесса.

В качестве первого управляющего импульса электротока в обмотку катушки намагничивания может быть подан импульс в виде серий периодических модулированных импульсов, амплитуда и/или огибающая которых нарастает от нулевого значения.

В качестве второго управляющего импульса электротока в обмотку катушки намагничивания может быть подан импульс в виде серий периодических модулированных импульсов, амплитуда и/или огибающая которых затухает до нулевого значения.

Кроме того, поставленная в изобретении задача решена тем, что в известном электромагните электромагнитного привода исполнительного устройства, выполненном в виде, по меньшей мере, одной катушки намагничивания на составном магнитопроводе с неподвижным статором, подвижным якорем и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, при этом, по меньшей мере, часть магнитопровода выполнена в виде вставки из магнитотвердого материала с возможностью управления магнитным потоком в магнитопроводе путем его перемагничивания за счет подачи кратковременных разнополярных импульсов тока в обмотку катушки намагничивания, **согласно изобретению**, магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитного потока при минимизации воздушного зазора вследствие возвратно-поступательного линейного перемещения якоря, при этом статор выполнен в виде плоского основания с закрепленной на нем, по меньшей мере, одной вставкой из магнитотвердого материала, а якорь выполнен в виде стальной пластины, по меньшей мере, с двумя стержнями, прикрепленными к ней торцами.

Электромагнит дополнительно снабжен прерывателем тока в обмотке катушки, выполненном в виде нормально замкнутых контактов, включенных последовательно в цепь питания обмотки катушки намагничивания и снабженных переключателем контактов, с выполненным в центре основания отверстием для прохождения переключателя контактов, при этом якорь снабжен толкателем контактов, который прикреплен к якорю и снабжен возвратной пружиной.

Для изменения длительности импульса тока в обмотке катушки намагничивания и включения и/или выключения электромагнита прерыватель тока дополнительно снабжен нормально разомкнутыми контактами, которые включены последовательно в цепь питания обмотки катушки намагничивания, а переключатель контактов выполнен в виде толкателя, который своим верхним торцом жестко связан с якорем, при этом в центре основания выполнено отверстие для переключателя контактов.

Поставленная в изобретении задача решена и тем, что якорь выполнен в виде пластины П-образной в продольном сечении формы, к которой своими торцами прикреплены боковые стержни, а статор – в форме бруска, снабженного вставкой из магнитотвердого материала.

Поставленная в изобретении задача решена и тем, что магнитопровод выполнен в виде двух пластин, по меньшей мере, двух стержней и, по меньшей мере, одной вставки из магнитотвердого материала, при этом якорь выполнен П-образной в продольном сечении формы в виде одной из пластин и двух стержней, прикрепленных к ней торцами, а статор -

в виде второй пластины, к которой прикреплена, по меньшей мере, одна вставка из магнитотвердого материала.

Поставленная в изобретении задача решена также тем, что магнитопровод выполнен в виде двух пластин, к одной из которых прикреплена, по меньшей мере, одна вставка из магнитотвердого материала, и, по меньшей мере, трех стержней, прикрепленных верхними торцами ко второй, свободной, пластине с образованием якоря III-образной в продольном сечении формы и с возможностью замыкания магнитной цепи при минимизации воздушного зазора.

Задача решена также и тем, что якорь выполнен III-образной в продольном сечении формы, при этом, по меньшей мере, две катушки намагничивания размещены предпочтительно на крайних стержнях якоря с возможностью создания согласованных магнитных потоков в центральном стержне.

Задача решена и тем, что магнитопровод дополнительно снабжен катушками намагничивания, размещенными на всех стержнях якоря, а обмотка одной из них включена встречно с другими обмотками катушек намагничивания.

Задача также решена тем, что магнитопровод дополнительно снабжен катушкой намагничивания, размещенной на центральном стержне, обмотка которой включена встречно с обмотками катушек намагничивания, размещенных на крайних стержнях.

Кроме того, поставленную в изобретении задачу решают тем, что в известном электромагните электромагнитного привода исполнительного устройства, выполненном в виде, по меньшей мере, одной катушки намагничивания на составном магнитопроводе с неподвижным статором, подвижным якорем, и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, при этом, по меньшей мере, часть магнитопровода выполнена в виде вставки из магнитотвердого материала с возможностью управления магнитным потоком в магнитопроводе путем его перемангничивания за счет подачи кратковременных разнополярных импульсов тока в обмотку катушки намагничивания, согласно изобретению, магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитного потока при минимизации воздушного зазора вследствие возвратно-поступательного перемещения якоря по дуге, преимущественно окружности, и при этом содержит корпус, выполненный в форме диска, на котором размещена, по меньшей мере, одна магнитная система, в форме сегмента, преимущественно кругового, в котором выполнен канал-паз с коаксиально размещенными по дуге окружности, катушка намагничивания размещена в корпусе, а якорь размещен в канале-пазе и выполнен в виде снабженного шляпкой и возвратной пружиной стержня, изготовленного по форме паза с возможностью возвратно-

поступательного перемещения по дуге окружности в нем. при этом вставка из магнитотвердого материала установлена на дне канала-паза и прикреплена к его стенке, ортогональной направлению перемещения якоря и ограничивающей это его перемещение.

Кроме того, поставленная в изобретении задача решена и тем, что в указанном известном электромагните электромагнитного привода исполнительного устройства, выполненном в виде, по меньшей мере, одной катушки намагничивания на составном магнитопроводе с неподвижным статором, подвижным якорем, и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, при этом, по меньшей мере, часть магнитопровода выполнена в виде вставки из магнитотвердого материала с возможностью управления магнитным потоком в магнитопроводе путем перемагничивания магнитопровода за счет подачи двух кратковременных разнополярных импульсов тока в обмотку катушки намагничивания, **согласно изобретению**, магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитного потока при минимизации воздушного зазора вследствие возвратно-поступательного линейного перемещения якоря относительно статора, статор выполнен в виде полого стакана, преимущественно цилиндрического, снабженного, по меньшей мере, одним стержнем, часть которого выполнена из магнитотвердого материала и который одним своим торцом прикреплен к днищу стакана, а другой его торец выполнен в одной плоскости с торцом цилиндра, при этом, по меньшей мере, одна из катушек намагничивания охватывает стержень, а якорь размещен снаружи стакана и выполнен в виде пластины с возможностью замыкания магнитной цепи при минимизации воздушного зазора вследствие перемещения якоря относительно статора.

В качестве подвижного якоря могут быть использованы конструктивные элементы металлолома или груза.

Поставленная в изобретении задача решена также и тем, что в указанном известном электромагните электромагнитного привода исполнительного устройства, выполненном в виде, по меньшей мере, одной катушки намагничивания на составном магнитопроводе с неподвижным статором, подвижным якорем, и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, при этом, по меньшей мере, часть магнитопровода выполнена в виде вставки из магнитотвердого материала с возможностью управления магнитным потоком в магнитопроводе путем перемагничивания магнитопровода за счет подачи кратковременных разнополярных импульсов тока в обмотку катушки намагничивания, **согласно изобретению**, магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитного потока при минимизации воздушного зазора вследствие вращательного перемещения якоря относительно статора, при этом статор магнитопровода выполнен в виде стакана.

снабженного. по меньшей мере. одним стержнем. часть которого выполнена из магнитотвердого материала и который одним своим торцом прикреплен к днищу стакана. а другой его торец выполнен в одной плоскости с торцом цилиндра. при этом. по меньшей мере, одна из катушек намагничивания охватывает стержень. якорь размещен снаружи стакана и выполнен в виде пластины с возможностью замыкания стакана крышкой, образования объемно-замкнутой магнитопроводящей конструкции "стакан-крышка" и с возможностью изменения момента силы трения между якорем и статором.

Поставленная в изобретении задача решена также тем, что в указанном известном электромагните электромагнитного привода исполнительного устройства, выполненном в виде, по меньшей мере, одной катушки намагничивания на составном магнитопроводе с неподвижным статором, подвижным якорем, и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, при этом, по меньшей мере, часть магнитопровода выполнена в виде вставки из магнитотвердого материала с возможностью управления магнитным потоком в магнитопроводе путем перемещения магнитопровода за счет подачи кратковременных разнополярных импульсов тока в обмотку катушки намагничивания, согласно изобретению, магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитного потока при минимизации воздушного зазора вследствие возвратно-поступательного линейного и/или вращательного перемещения якоря относительно статора, при этом статор магнитопровода выполнен в виде стакана, во внутренней полости которого коаксиально размещена катушка намагничивания и дно которого выполнено в виде вставки из магнитотвердого материала, а якорь выполнен в виде крышки стакана, прикрепленной к торцу стержня, коаксиально размещенного во внутренней полости катушки, при этом магнитопровод выполнен с возможностью замыкания стакана крышкой с одновременным касанием свободным торцом стержня дна стакана, с образованием объемно-замкнутой магнитопроводящей конструкции "стакан – крышка – стержень – дно стакана".

Поставленная в изобретении задача решена также и тем, что дно стакана выполненное из магнитотвердого материала с прослойкой из магнитомягкого материала с наружной стороны стакана с возможностью увеличения площади сечения дна стакана перпендикулярного направлению магнитного потока.

Поставленная в изобретении задача решена и тем, что дно стакана, по крайней мере, частично выполнено в виде вставки из магнитомягкого материала с возможностью изменения силы трения якоря относительно статора.

Наконец, поставленная в изобретении задача решена тем, что, по крайней мере, частично стенки стакана выполнены из магнитотвердого материала, а якорь выполнен с возможностью линейного возвратно-поступательного перемещения и с возможностью изменения момента силы трения относительно статора.

Такое выполнение изобретения обеспечивает повышение эксплуатационной эффективности посредством снижения энергозатрат, посредством повышения надежности за счет сокращения отказов и увеличения наработки на отказ, посредством улучшения массо-габаритных показателей, а также посредством повышения функциональности электромагнита, т.е. расширения его функциональных возможностей.

### Краткое описание фигур чертежей

В дальнейшем заявленная группа изобретений иллюстрируется фигурами чертежей, на которых схематически отображены:

Фиг. 1 – эквивалентная схема магнитной цепи составного магнитопровода заявленного электромагнита;

Фиг. 2 – временные диаграммы параметров, характеризующих процессы в заявленном электромагните с составным магнитопроводом;

Фиг. 3 – схематичные кривые намагничивания и энергозатрат на намагничивание магнитотвердых материалов составного магнитопровода заявленного электромагнита, а именно для сплавов: ЮН13ДК24 под номером 31, ЮН15ДК25БА под номером 32, ЮНДК35Т5БА под номером 33, 28СА250 (FeBa) под номером 34, КСП37А (SmCo) под номером 35 и NdFeB под номером 36;

Фиг. 4 – таблица электромагнитных свойств магнитотвердого и магнитомягкого материалов составного магнитопровода;

Фиг. 5-8 – электромагнит с многостержневым составным магнитопроводом и линейным возвратно-поступательным перемещением якоря, вид спереди, продольное сечение (на фиг. 5, 7 и 8) и, соответственно, вид сверху (на фиг. 6);

Фиг. 9 и 10 – электромагнит с составным магнитопроводом и возвратно-поступательным поворотным перемещением якоря, вид спереди (продольное сечение) и, соответственно, вид сверху (поперечный разрез);

Фиг. 11 и 12 – электромагнит с многостержневым составным магнитопроводом и возвратно-поступательным линейным и/или возвратно-поступательным вращательным перемещением якоря, вид спереди, продольное сечение, и, соответственно, вид сверху;

Фиг. 13-16 – электромагнит с одностержневым составным магнитопроводом, и возвратно-поступательным линейным и/или возвратно-поступательным вращательным перемещением якоря, вид спереди, продольное сечение;

Фиг. 17-21 схематическая иллюстрация процессов, происходящих в доменной структуре магнитотвердого материала.

Фиг. 22 - 25 - таблицы свойств спеченных и литых магнитотвердых материалов согласно западноевропейской номенклатуре и ее соответствия номенклатуре, принятой в постсоветских государствах, в том числе Украине.

Существенной особенностью заявленной группы изобретений является то, что для ее осуществления должны быть выполнены следующие условия:

1. Воздушный зазор должен быть минимизирован, это с одной стороны означает, что минимизировано поле рассеивания, а с другой – что магнитная цепь выполнена замкнутой, состоит из отдельных последовательно соединенных участков ферромагнетика с практически минимизированным суммарным сопротивлением эквивалентной магнитной цепи, так чтобы полный магнитный поток проходил через каждый из участков эквивалентной магнитной цепи.

2. Ферромагнетик замкнутой магнитной цепи заявленного электромагнита на фиг. 5-16 должен быть обязательно выполнен из комбинации магнитомягкого и магнитотвердого материалов, поскольку выполнение магнитной цепи электромагнита только из магнитотвердого материала, например из сплавов типа КСП37А (SmCo) или ЮНДК15, ЮНДК18С, ЮН13ДК24, ЮН13ДК25, ЮН14ДК25 и т.п., очень существенно повышает себестоимость и тем самым снижается эффективность заявленного изобретения. Кроме того, в этом случае нужно затрачивать существенно больше энергии на перемагничивание магнитотвердого материала магнитопровода электромагнита.

3. Указанная комбинация магнитомягкого и магнитотвердого материалов в магнитной цепи электромагнита на фиг. 5-16 должна быть подобрана такой, чтобы с одной стороны можно было обеспечить перемагничивание магнитотвердой вставки магнитной цепи с возможностью при этом перевода магнитопровода в одно (из нескольких) устойчивых состояний за счет “магнитной памяти” магнитотвердого материала, а с другой – можно было вернуть магнитопровод в первоначальное состояние намагниченности с минимальными энергозатратами и без применения специальных средств. В каждом из этих случаев магнитомягкий материал выполняет роль магнитопровода со сравнительно высокой магнитной проницаемостью и сравнительно низкой стоимостью, “магнитную память” обеспечивают за счет использования магнитотвердого материала, поскольку

магнитотвердая вставка практически полностью аккумулирует магнитную энергию, созданную катушкой намагничивания.

4. Для эффективного использования магнитной энергии обеспечивают возможность прохождения магнитного потока полностью через магнитотвердую вставку, т.е. без утечек через параллельные ветви магнитной цепи из магнитомягкого материала, тем более через воздушные зазоры, ибо в противном случае не будет обеспечена возможность реализации заявленного способа. При этом площадь поперечного сечения магнитотвердой вставки должна быть по величине сопоставима, а в оптимальном случае равна площади поперечного сечения магнитомягкой части магнитопровода, а их объемы (их массы) должны быть рассчитаны в зависимости от конкретно заданных притягивающих и удерживающих усилий.

5. Необходимо чтобы направление вектора напряженности магнитного поля в магнитотвердом материале практически совпадало с направлением расположения доменов материала магнитотвердой вставки, т.е. должно выполняться условие  $\cos \alpha = 1$ , где  $\alpha = 0$  – угол между указанными направлениями;

6. Используемые магнитотвердые материалы для составного магнитопровода (сплавы, спеченные магниты и т.п.) должны иметь, по возможности, минимальную энергию, необходимую для их перемагничивания (см. кривые 31-35 на фиг. 3).

7. Подача управляющего намагничивающего электромагнитного импульса должна заканчиваться с минимизацией воздушного зазора, т.е. для соблюдения условий сохранения максимальной магнитной энергии, которую приложили к магнитотвердому материалу.

Соблюдение указанных условий 1-7 необходимо для обеспечения перемагничивания магнитотвердой вставки при реализации заявленного способа. Следовательно, оно также необходимо для конструктивного воплощения изобретения в заявленных устройствах, реализующих заявленный способ.

Согласно изобретению, реализацию указанных условий обеспечивают совместно с осуществлением заявленного способа управления магнитным потоком в составном магнитопроводе электромагнита посредством:

- трансформации разомкнутого составного магнитопровода в кольцевой замкнутый магнитопровод с минимальным воздушным зазором при его намагничивании;
- а также посредством обратной его трансформации в разомкнутый магнитопровод с существенным воздушным зазором при его размагничивании, т.е. при "обнулении" магнитного потока в магнитопроводе.

При соблюдении указанных условий происходит закольцовывание магнитного потока по ферромагнетику магнитопровода заявленного электромагнита и МДС, индуцированная обмоткой катушки намагничивания приложена к ферромагнетику магнитопровода заявленного электромагнита между магнитомягкой частью составного магнитопровода и последовательно включенной с ней в магнитную цепь магнитотвердой вставкой. Это перераспределение прямо пропорционально магнитным сопротивлениям этих частей составного магнитопровода, т.е. обратно пропорционально их магнитным проводимостям (см. эквивалентную схему на фиг. 1), поскольку через каждую из этих частей, соединенных последовательно друг с другом в составном магнитопроводе проходит один и тот же магнитный поток  $\Phi$ . Поскольку магнитная проницаемость магнитотвердой вставки, являющейся частью составного магнитопровода, значительно меньше, чем магнитная проницаемость магнитомягкой части этого же составного магнитопровода, то практически вся МДС (во всяком случае, большая ее часть) оказывается приложенной к магнитотвердой вставке, т.е. напряженность магнитного поля в магнитотвердой вставке будет весьма значительной, а ее величина будет определяться практически полностью величиной МДС, создаваемой обмоткой катушки намагничивания. Это обеспечивает весьма значительную величину намагниченности материала магнитотвердой вставки, определяемую величиной  $B_{\text{раб.ном.}}$  магнитной индукции на кривой намагничивания фиг. 2 для материала магнитотвердой вставки. Это значение  $B_{\text{раб.ном.}}$  магнитной индукции обеспечивает удерживающее усилие электромагнита, поскольку  $F$  пропорционально произведению

$$B_{\text{раб.ном.}} \times S \times m \times \cos \alpha, \text{ где}$$

$B_{\text{раб.ном.}}$  — номинальное значение рабочей индукции,

$S$  — площадь поперечного сечения магнитотвердой вставки,

$m$  — масса вставки,

$\alpha$  — угол между направлениями вектора напряженности магнитного поля, создаваемого катушкой намагничивания, и направлением упорядоченности доменов материала магнитотвердой вставки. Если эти направления совпадают, то  $\alpha=0$  и  $\cos \alpha=1$ .

В этом случае, с учетом выполнения вышеупомянутых условий 1-7, составной замкнутый магнитопровод электромагнита работает как постоянный магнит, который намагничен практически до максимального значения магнитной индукции, т.е. до значения, близкого к насыщению магнитотвердого материала. В этих условиях предпочтительно выполнение вставки из магнитотвердого материала, например, из сплава "Алпико" — т.е. сплава алюминия (Al), никеля (Ni) и кобальта (Co), а именно из любого из

многочисленных вариантов сплава, которые достаточно распространены и достаточно дешевы, среди которых наиболее пригодны для реализации изобретения сплавы с наименьшей энергией на их перемагничивание, например сплав ЮН13ДК24, который обозначен на фиг. 3 под номером 31 и характеризуется значением магнитной индукции, которая близка к значению индукции насыщения  $B_{\max}$  и, соответственно, обеспечивает притягивающее усилие  $F$ , которое в несколько раз превышает усилие постоянного магнита, изготовленного из тех же материалов и с теми же габаритными размерами, что и вставка в составном магнитопроводе. Т.е. для случаев использования одного и того же магнитотвердого материала в качестве вставки в замкнутой цепи магнитопровода, магнитная индукция будет существенно больше, чем в разомкнутой магнитной цепи, а именно

$$B_{\text{раб.ном.}} : B_{\max} = 10 : 15.$$

Например, магнитотвердая вставка диаметром 6мм и высотой 3мм из сплава ЮН13ДК24 в замкнутой магнитной цепи обеспечивает удерживающее усилие 2,8кг, а в качестве постоянного магнита менее 200г.

Вставка диаметром 12мм и высотой 8мм обеспечивает удерживающее усилие в замкнутой магнитной цепи 15кг, а в качестве постоянного магнита менее 1кг.

Составной магнитопровод заявленного электромагнита (фиг. 5-16) состоит из подвижной 1 и неподвижной 2 части и выполнен с возможностью замыкания магнитной цепи при минимизации воздушного зазора. При этом неподвижная часть 2 (фиг. 5-6), являющаяся статором магнитопровода, выполнена в виде плоского основания с закрепленными на нем четырьмя вставками 3 из магнитотвердого материала КСП37А (SmCo) и катушками 4 намагничивания, а также нормально замкнутыми контактами 5 и 6, включенными последовательно в цепь питания катушки намагничивания с выполненным в центре основания 2 отверстием 7 для прохождения толкателя 8 отключения контактов. А подвижная часть 1, являющаяся якорем магнитопровода, выполнена в виде стальной (сталь Ст. 3) пластины с закрепленными на ней стержнями 9 (сталь Ст. 3), выполненными с возможностью возвратно-поступательного перемещения вдоль оси стержней. Электромагнит снабжен двумя возвратными пружинами 10 и 11 и сверху закрыт заглушкой 12. Дополнительный технический результат, получаемый от использования заявленного устройства, отображенного на фиг. 5-6, заключается в возможности реализации изобретения в исполнительных устройствах стержневого типа, т.е. в устройствах, приводы которых могут быть размещены между катушками намагничивания, т.е. соосно с электромагнитной системой. Это могут быть исполнительные устройства в

магнитных пускателях, контакторах, вакуумных выключателях, запорных устройствах для блокирования замков сейфов, автомобилей, дверей и т.п. конструкциях, предотвращающих несанкционированное проникновение, а также запорных клапанах и т.п. По сравнению с известными конструкциями электромагнита заявленное изобретение обеспечивает возможность работы в импульсном режиме с отсутствием потребления энергии обмотками 4 катушек намагничивания в устойчивых состояниях, кроме моментов переключения. Результатом этого, в конечном счете, является возможность существенно (на порядок и более) увеличить силу тока в обмотках 4 катушек и количество ампервитков катушки намагничивания и, соответственно, увеличить тяговое и удерживающее усилия электромагнита при одновременном снижении его массо-габаритных характеристик.

Ниже приведены пояснения особенностей вариантов выполнения конструкции заявленного электромагнита и особенностей заявленного способа, реализованного в заявленных конструкциях. Указанные особенности исполнения изобретения являются его конкретной иллюстрацией и ни в коем случае не накладывают ограничений на изобретение в целом.

В электромагните электромагнитного привода на фиг. 7 якорь 1 выполнен в виде стальной пластины (сталь 10) Побразной в продольном сечении формы, при этом стержни 9 отформованы из пластины 1 якоря, а статор 2 выполнен в форме бруска и снабжен вставкой 3 из магнитотвердого материала, которая также выполнена в виде бруска из сплава КСП37А (SmCo), закрепленного на статоре. Дополнительный технический результат, получаемый от использования заявленного устройства, отображенного на фиг. 7, заключается в расширении функциональных возможностей заявленного электромагнита путем его использования, например, в магнитных пускателях, обеспечивая при этом оптимальную компоновку аппарата.

В электромагните электромагнитного привода на фиг. 8 магнитопровод выполнен в виде двух пластин 1 и 2 из магнитомягкого материала (Ст. 3). К пластине 2 (статору) прикреплена магнитотвердая вставка 3 (сплав ЮНДК15), размещенная в осевом канале катушки 4 намагничивания. Якорь 1 выполнен в виде стальной (сталь 10) пластины и трех стержней 9, прикрепленных своими торцами к пластине 1 П-образной в продольном сечении формы. При этом стержни 9 выполнены такой длины, чтобы обеспечивалось замыкание магнитного потока в магнитопроводе при минимизации воздушного зазора с возвратно-поступательным линейным перемещением якоря. Дополнительный технический результат, получаемый от использования заявленного устройства, отображенного на фиг. 8, также заключается в расширении функциональных

возможностей заявленного электромагнита путем его использования, например, в контакторах и т.п. с обеспечением при этом оптимальной компоновки электромагнитной системы с минимальной металлоемкостью.

В электромагните электромагнитного привода на фиг. 9 и 10 магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитной цепи при минимизации воздушного зазора вследствие возвратно-поступательного перемещения якоря по дуге окружности 1 и содержит стальной (Ст. 3) корпус 10, выполненный в форме диска, на котором размещены две подковообразные магнитные системы, выполненные в форме круговых сегментов 11. В каждом сегменте выполнен канал-паз 12, с коаксиально размещенными по дуге окружности боковыми стенками 13 и 14. Обмотки катушек 4 намагничивания размещены в корпусе 10. Якорь 1 в виде снабженного шляпкой 15 и возвратной пружины 16 стержня размещен в канале-пазу 12 и выполнен по форме паза с возможностью возвратно-поступательного перемещения в нем по дуге окружности. Вставка 3 из магнитотвердого материала – сплава КСП37А (SmCo) установлена на дне канала-паза 12 и прикреплена к его стенке 17, которая ортогональна направлению перемещения якоря 1 и ограничивает его перемещение. Кроме обмоток катушек намагничивания 4 в корпусе 10 размещены обмотки размагничивающих катушек 18, обеспечивающей подачу управляющего импульса обратной полярности. Дополнительный технический результат, полученный от использования заявленного устройства, изображенного на фиг. 9 и 10, заключается в расширении функциональных возможностей заявленного электромагнита путем его использования, например, в обгонных или храповых муфтах за счет создания и использования дополнительных функций этих муфт, а именно включение, выключение, изменение направления вращения, угловое перемещение с заданным шагом. А также путем использования в клапанах гидравлических систем с возможностью регулирования проходного сечения канала.

В электромагните электромагнитного привода, отображенного на фиг. 11 и 12, магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитного потока при минимизации воздушного зазора вследствие возвратно-поступательного линейного перемещения якоря относительно статора, выполненного в виде перевернутого стального стакана 19 (сталь Ст. 3). Статор снабжен пятью стальными стержнями 9 (сталь Ст. 3), которые частично выполнены из магнитотвердого материала – сплава КСП37А (SmCo) в виде вставок 3, прикрепленных к дну 20 стакана 19. При этом каждый стержень 9 прикреплен к вставке 3 и является ее продолжением так, что наружные торцевые поверхности стержней 9 выполнены в одной плоскости с торцевой поверхностью стакана

19. Каждый из стержней 9 охвачен катушкой 4 намагничивания, а подвижный якорь 1, выполненный в форме диска с возможностью замыкания своей плоскостью магнитной цепи магнитопровода при возвратно-поступательном линейном и/или вращательном перемещении якоря 1 относительно статора 19. Этот вариант выполнения электромагнита характеризуется тем, что в качестве подвижного якоря 1 могут быть использованы конструктивные элементы металлолома и/или груза, благодаря чему заявленный электромагнит может быть использован как экономичный способ транспортирования металлолома или других металлических грузов. В случае выполнения электромагнита с обеспечением возможности возвратно-поступательного линейного и/или одновременно с этим вращательного перемещения якоря относительно статора, заявленная конструкция может быть использована как муфта сцепления для передачи крутящего момента, как тормозной механизм и для иных т.п. целей. Таким образом, функциональные возможности заявленного электромагнита еще больше расширяются. В заявленном варианте электромагнита катушки намагничивания соединены таким образом, что создают согласованные суммирующиеся магнитные потоки в магнитопроводе. В рассматриваемом варианте выполнения заявленного электромагнита обмотка катушки 4, установленной на среднем стержне 9, может быть включена с возможностью создания встречного магнитного потока и использоваться как размагничивающая. Дополнительный технический результат рассматриваемого варианта заявленного электромагнита заключается в возможности изменения момента силы трения между якорем и статором.

В электромагните электромагнитного привода, отображенного на фиг. 13, магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитного потока при минимизации воздушного зазора вследствие возвратно-поступательного линейного и/или вращательного перемещения якоря относительно статора. При этом статор выполнен в виде стального (сталь Ст. 3) стакана 21, дно 3 которого выполнено из магнитотвердого материала - сплава КСП37А (SmCo) и прижато к торцевой поверхности стакана 21 винтовым колпачком 26, выполненным из немагнитного материала. Катушка намагничивания 4 коаксиально размещена во внутренней полости 22 стакана 21, а якорь выполнен в виде крышки стакана 23, прикрепленной к стальному (сталь Ст.3) стержню 9, коаксиально размещенному во внутренней полости 24 каркаса 25 катушки намагничивания 4. Магнитопровод выполнен с возможностью замыкания стакана 21 крышкой 23 при одновременном касании свободным торцом стержня 9 дна 3 стакана 21, образованием объемно-замкнутой конструкции "стакан 21 – крышка 23 – стержень 9 – дно 3 стакана 21" и намагничивания дна 3 из магнитотвердого материала с обеспечением

удерживающего усилия электромагнита, которое практически равно тяговому усилию, создаваемому катушкой 4 намагничивания и с возможностью изменения момента силы трения между якорем и статором. Дополнительный технический результат рассматриваемого варианта заявленного электромагнита, изображенного на фиг. 13, заключается в увеличении длинноходности (поскольку стержень якоря размещен внутри стакана по всей его длине) а также в повышении надежности за счет увеличения помехозащищенности магнитной системы от влияния внешних магнитных полей.

В электромагните электромагнитного привода, изображенного на фиг. 14 дно 3 стакана 21 выполненное из магнитотвердого материала снабженное с наружной стороны магнитомягкой прослойкой 27, которая позволяет увеличить удерживающее усилие электромагнита за счет увеличения площади магнитотвердого материала участвующего в перемагничивании и "запоминании" магнитного потока.

В электромагните электромагнитного привода, изображенного на фиг. 15, дно 3 стакана 21 выполнено из магнитотвердого материала, а его поверхность со стороны якоря выполнена с изоляцией в виде прослойки 27 из магнитомягкого материала. Это позволяет задавать якорю вращательное движение без опасения, что вследствие трения между якорем и статором возникнут необратимые процессы в доменной структуре магнитотвердого материала дна 3 стакана 21.

В электромагните электромагнитного привода изображенного на фиг. 16 статор, в виде полого стального стакана 21, который, по крайней мере, частично выполнен из магнитотвердого материала в форме кольца 28, а дно 3 стакана 21 выполнено из магнитомягкого материала и прижато винтовым колпачком 26 из немагнитного материала к торцевой поверхности стакана 21.

Дополнительный технический результат, полученный от использования варианта заявленного устройства, изображенного на фиг. 16 заключается в возможности обеспечения линейного возвратно-поступательного перемещения и изменения момента силы трения между якорем и статором.

Аналитически установлено и подтверждено практически, что увеличение количества стержней стержневого якоря заявленного электромагнита позволяет уменьшить площадь поперечного сечения каждого из них, поскольку для заявленной конструкции (см. например, фиг. 5-16) имеет значение суммарная площадь их поперечного сечения. С другой стороны, последовательное включение обмоток катушек намагничивания на этих стержнях позволяет увеличить суммарное количество ампервитков, обеспечиваемое этими

обмотками, т.е. сохранять (и даже увеличить) МДС и притягивающее усилие. Обеспечиваемое электромагнитом при одновременно уменьшении расхода меди. поскольку конструктивным путем при этом обеспечивают существенное снижение средней длины витка  $I_{ср}$  обмотки, которая создает необходимые ампервитки. Так. в электромагните с подвижным стержневым якорем, использующим четыре стержня. обеспечивается дополнительный эффект в виде экономии расхода меди примерно в 2 раза.

Кроме того, аналитическим путем установлен и подтвержден экспериментально дополнительный эффект заявленной группы изобретений, который состоит в том, что импульсное питание обмоток катушек намагничивания заявленного электромагнита, независимо от указанного выше эффекта, позволяет еще в 3÷5 раз сократить расход меди (в зависимости от конструктивных особенностей) за счет повышения электрической мощности управляющего импульса. Это связано с тем, что кратковременность импульсного воздействия на обмотку электромагнита, а также дальнейшее отсутствие электрического тока в обмотке до подачи второго управляющего импульса, согласно изобретению, обеспечивают такой тепловой режим эксплуатации электромагнита, при котором обмотка катушки намагничивания не нагревается. Таким образом, как установлено практически, оба дополнительных эффекта суммарно обеспечивают снижение металлоемкости на 50÷90%.

Использование в заявленном способе и в заявленном электромагните размагничивающего импульса тока позволяет использовать в качестве магнитомягкого материала составного магнитопровода любую магнитопроводящую, в том числе обычную конструкционную, сталь вместо специальной электротехнической стали без опасений, что подвижный якорь залипнет. Кроме того, импульсное управление электромагнитом обеспечивает снижение потерь в стали (вихревые токи, потери на перемагничивание и др.), что позволяет не использовать наборный, т.е. шихтованный, сердечник электромагнита. Это снижает себестоимость, что является еще одним дополнительным техническим эффектом, обеспечиваемым заявленным изобретением.

Отсутствие тока в катушке намагничивания электромагнита в двух основных состояниях магнитопровода обеспечивает отсутствие шумов и вибраций в сравнении с магнитными системами контакторов (пускателей и т.п.), обмотки которых в рабочем состоянии находятся под напряжением, что также является дополнительным техническим результатом. Это ведет к повышению эксплуатационной надежности вследствие уменьшения "малого механического износа" контактов и деталей электропривода, что, в конечном счете, повышает эффективность заявленной группы изобретений.

Подача на обмотку намагничивания заявленного электромагнита кратковременных управляющих импульсов тока позволяет при сопоставимых тяговых характеристиках и удерживающих усилиях электромагнита существенно снизить металлоемкость заявленного электромагнита и увеличить силу тока управляющего импульса. Это еще один дополнительный технический результат, обеспечиваемый заявленным изобретением в виде существенного уменьшения массогабаритных характеристик.

Снижение массы подвижных деталей электромагнита и одновременно с этим существенное уменьшение вероятности наклепа в местах механического контакта металлических частей также способствуют повышению эффективности. Этому же способствует эффект пневматического демпфирования стержней якоря во внутренних полостях катушки намагничивания, который также является дополнительным техническим результатом от использования заявленной группы изобретений.

Еще одним дополнительным техническим результатом от использования заявленного изобретения является то, что в случае использования изобретения в контакторах, выключателях и т.п. устройствах особенность заявленной конструкции приводит к тому, что, во-первых, сила сжатия контактов контактора не зависит от снижения напряжения питания, а, во-вторых, повышение напряжения питания не может привести к разогреву обмотки катушки намагничивания контактора, т.к. в рабочем состоянии она обесточена и не потребляет электроэнергию.

Ниже дается качественно-количественный анализ, который следует рассматривать в качестве примера реализации заявленного способа, а также заявленного электромагнита. Из анализа еще более становятся понятными особенности заявленного способа управления магнитным потоком в составном магнитопроводе заявленного электромагнита и особенности конструкции заявленного электромагнита.

При анализе магнитных цепей удобно и общепринято использовать аналогию между магнитными и электрическими цепями. В этом случае магнитные цепи обычно могут быть представлены в виде электрических схем, отображающих протекание электрического тока в цепи, являющейся электрическим аналогом анализируемой магнитной цепи. В дальнейшем затем анализируют именно такие аналоговые электрические схемы. Электрическая схема, показанная на фиг.1, отображает эквивалентную замкнутую магнитную цепь составного магнитопровода заявленного электромагнита. При этом магнитопровод, по меньшей мере, частично выполнен из магнитотвердого материала. Ниже приведен анализ этой цепи, представленной в виде последовательно соединенных

элементов. Часть магнитопровода (на схеме фиг. 1), выполненная из магнитотвердого материала, отображена в виде источника магнитодвижущей силы (МДС) и магнитного сопротивления  $R_T$  магнитного материала, а часть, выполненная из магнитомягкого материала, отображена в виде магнитного сопротивления  $R_M$ . Соответственно воздушный зазор составного магнитопровода отображен на схеме фиг. 1 в виде магнитного сопротивления  $R_1$  воздушного зазора. Для упрощения рассуждений анализ сделан в предположении, что рассеяние магнитного потока, вихревые токи и другие, малозначащие для наших рассуждений, явления условно учтены в составе магнитного сопротивления  $R_1$  воздушного зазора. Тогда величина магнитодвижущей силы (МДС) в анализируемой цепи пропорциональна остаточной намагниченности магнитопровода материала, а величины магнитных сопротивлений  $R_T$ ,  $R_M$ ,  $R_1$  соответственно магнитотвердого, магнитомягкого материала и воздушного зазора пропорциональны магнитным проницаемостям соответственно  $\mu_T$  магнитотвердого материала,  $\mu_M$  магнитомягкого материала и  $\mu_1$  воздушного зазора. Кроме того, они соответственно пропорциональны протяженности (длине) силовых линий магнитотвердого материала, магнитомягкого материала и величине воздушного зазора. Понятно, что при увеличении протяженности (величины) воздушного зазора магнитное сопротивление  $R_1$  этого воздушного зазора будет возрастать в квадратичной зависимости и, наоборот, при уменьшении протяженности (величины) воздушного зазора магнитное сопротивление  $R_1$  этого зазора будет убывать в соответствии с этой зависимостью.

На фиг. 2 показаны временные диаграммы параметров, характеризующих физические процессы, которые происходят в составном магнитопроводе заявленного электромагнита, по меньшей мере, частично выполненном из магнитотвердого материала, при реализации заявленного способа управления магнитным потоком электромагнита. На диаграмме  $I(t)$  отображена временная зависимость управляющих импульсов электрического тока в обмотке катушки намагничивания, т.е. зависимость величины электрического тока от времени. Аналогично, на диаграмме  $H(t)$  отображена временная зависимость напряженности магнитного поля. На диаграмме  $\mu_T(t)$  отображена временная зависимость магнитной проницаемости в магнитотвердом материале. На диаграмме  $\mu_M(t)$  отображена временная зависимость магнитной проницаемости в магнитомягком материале. На диаграмме  $R_T(t)$  отображена временная зависимость магнитного сопротивления магнитотвердого материала. На диаграмме  $R_M(t)$  отображена временная зависимость магнитного сопротивления магнитомягкого материала. На диаграмме  $R_1(t)$  отображена временная зависимость магнитного сопротивления воздушного зазора. На диаграмме  $R_2(t)$

отображена временная зависимость суммарного магнитного сопротивления составного магнитопровода. На диаграмме  $MDC(t)$  отображена временная зависимость магнитодвижущей силы, действующей в магнитопроводе. На диаграмме  $\Phi(t)$  отображена временная зависимость магнитного потока в магнитопроводе. На диаграмме  $B_r(t)$  отображена временная зависимость магнитной индукции в магнитотвердом материале. На диаграмме  $B_m(t)$  отображена временная зависимость магнитной индукции в магнитомягком материале. На диаграмме  $F(t)$  отображена временная зависимость силы электромагнита, притягивающей якорь. А на диаграмме  $\delta(t)$  отображена временная зависимость величины воздушного зазора.

С момента времени  $t_1$  начинается нарастание напряженности  $H$  магнитного поля до величины, определяемой амплитудой управляющего импульса электрического тока  $I$  в обмотке катушки намагничивания. В соответствии с нарастанием напряженности  $H$  магнитного поля с момента времени  $t_1$  начинается увеличение магнитной проницаемости  $\mu_r$  магнитотвердого материала от значения  $\mu_0$  до значения  $\mu_{max}$  и последующее ее уменьшение до минимального значения  $\mu_{min}$ , вызванное насыщением магнитотвердого материала. Аналогичные изменения претерпевает магнитная проницаемость  $\mu_m$  в магнитомягком материале. При этом магнитная проницаемость  $\mu_m$  магнитомягкого материала, не имеющая явно выраженного насыщения, увеличивается до значения, которое в 1,5÷2 раза больше, чем магнитная проницаемость  $\mu_r$  магнитотвердого материала, достигающая явно выраженного насыщения (см. фиг. 2 и табл. 1). Изменения во времени магнитного сопротивления  $R_r$  магнитотвердого материала и магнитного сопротивления  $R_m$  магнитомягкого материала, представляющих собой величины, обратно пропорциональные соответствующим магнитным проницаемостям, отображены на временных диаграммах  $R_r(t)$  и  $R_m(t)$ , соответственно. Как видно из временных диаграмм  $R_r(t)$  и  $R_m(t)$ , указанные магнитные сопротивления в момент времени  $t_1$  начинают уменьшаться, и это уменьшение продолжается до тех пор, пока текущие значения  $R_r(t)$  и  $R_m(t)$  не достигнут значений, определяемых величиной максимальной магнитной проницаемости  $\mu_{max}$ , причем магнитное сопротивление магнитомягкого материала принимает окончательное значение, которое в 1,5÷2 раза меньше, чем магнитное сопротивление магнитотвердого материала. Суммарное магнитное сопротивление  $R_\Sigma$  составного магнитопровода, по меньшей мере, частично выполненного из магнитотвердого материала (см. фиг. 1), может быть представлено суммой магнитных сопротивлений магнитотвердого материала  $R_r$ , магнитомягкого материала  $R_m$  и

воздушного зазора  $R_1$ . При этом следует иметь в виду, что значение магнитного сопротивления  $R_1$  воздушного зазора является функцией, которая пропорциональна квадрату величины воздушного зазора  $\delta$  и которая начинает уменьшаться в момент времени  $t_1$ , а в момент времени  $t_2$  достигает своего минимального значения. В этот же момент времени величина магнитного сопротивления воздушного зазора  $R_1$  достигает минимального значения.

Величины магнитных индукций  $B_T$  в магнитотвердом и  $B_M$  в магнитомягком материалах и величина магнитного потока  $\Phi$  в магнитопроводе, а также величина магнитодвижущей силы МДС в момент времени  $t_1$  начинают возрастать вследствие возрастания напряженности магнитного поля  $H$  и уменьшения суммарного магнитного сопротивления магнитопровода  $R_\Sigma$  и заканчивают свое нарастание после окончания нарастания напряженности  $H$  магнитного поля, окончания процесса намагничивания магнитотвердого и магнитомягкого материалов и окончания процесса минимизации воздушного зазора. Притягивающее усилие  $F$ , которое является функцией магнитного потока и обратно пропорционально квадрату величины воздушного зазора, также начинает возрастать в момент времени  $t_1$  и достигает своего максимального значения при достижении величиной воздушного зазора  $\delta$  ее минимального значения.

Указанные выше физические величины сохраняют свои значения до момента времени  $t_3$ , т.е. до момента окончания действия управляющего импульса электрического тока в обмотке катушки намагничивания. В этот момент времени  $t_3$  начинает уменьшаться напряженность  $H$  магнитного поля и магнитодвижущая сила МДС. Однако это уменьшение ограничено сохранившейся намагниченностью магнитотвердого материала, а величина намагниченности магнитотвердого материала, в свою очередь, ограничена низким суммарным магнитным сопротивлением  $R_\Sigma$  магнитопровода, которая сохраняется благодаря высокой напряженности  $H$  магнитного поля. Таким образом, фактически имеет место установленный нами факт, который ранее не был известен, - наличие положительной обратной связи между выше указанными величинами, а именно между  $H$ ,  $B_T$ ,  $B_M$ ,  $\mu_T$ ,  $\mu_M$ ,  $R_T$  и  $R_M$ . При этом указанные величины взаимно препятствуют уменьшению друг друга.

Так, при уменьшении напряженности магнитного поля  $H$  (см. фиг. 2) остаточная магнитная индукция (намагниченность) магнитотвердого материала создает магнитодвижущую силу МДС, величина которой тем больше, чем больше  $B_T$ . В замкнутой магнитной цепи  $B_T$  магнитопровода (см., например, фиг. 1) магнитодвижущая сила МДС создает магнитный поток  $\Phi$ , величина которого составляет

$$\Phi = \text{МДС} / R_{\Sigma} \quad (1)$$

где  $R_{\Sigma}$  - полное магнитное сопротивление эквивалентной магнитной цепи на фиг. 1.

При этом  $R_{\Sigma} = R_r + R_m + R_s, \quad (2)$

где  $R_r$  - магнитное сопротивление магнитотвердого материала магнитопровода;

$R_m$  - магнитное сопротивление магнитомягкого материала магнитопровода;

$R_s$  - магнитное сопротивление воздушного зазора.

Следствием этого есть то, что магнитный поток  $\Phi$  определяет намагниченность магнитомягкого материала. А результатом описанного явления есть то, что магнитные проницаемости  $\mu_r$  магнитотвердого материала и  $\mu_m$  магнитомягкого, соответственно, материалов магнитопровода остаются практически такими же, как и в интервале времени от  $t_1$  до  $t_2$  на фиг. 2. Следовательно, магнитные сопротивления  $R_r$  магнитотвердого материала и, соответственно,  $R_m$  магнитомягкого материалов практически не изменяют своих значений при перемагничивании, т.е. при намагничивании и размагничивании. И так как величина воздушного зазора  $\delta$  остается минимальной (минимизированной), то магнитное сопротивление  $R_s$  воздушного зазора и суммарное магнитное сопротивление  $R_{\Sigma}$  эквивалентной замкнутой цепи магнитопровода на фиг. 1 сохраняют свои значения на уровне, близком к тем значениям, которые имели место в интервале времени от  $t_1$  до  $t_2$  на фиг. 2. Это установленное автором данного изобретения новое свойство составных магнитных цепей имеет весьма существенное значение для заявленной группы изобретений – заявленного способа управления магнитным потоком в составном магнитопроводе электромагнита и заявленной конструкции электромагнита, в которой использован этот способ, поскольку определяет имеющий место так называемый “эффект защелки”, или эффект, который аналогичен “триггерному эффекту”. В результате описанных процессов напряженность магнитного поля  $H$ , величина магнитной индукции  $B_r$  в магнитотвердом и  $B_m$  в магнитомягком материалах, магнитодвижущая сила МДС, магнитный поток  $\Phi$  и притягивающая сила  $F$  электромагнита сохраняют свои значения на уровне 80-98% от тех значений, которые эти величины имели в момент времени  $t_3$ . Описанное состояние является одним из устойчивых состояний магнитопровода. Такое устойчивое состояние сохраняется до подачи второго управляющего импульса в обмотки намагничивания в момент времени  $t_4$ .

В рассматриваемом случае второй управляющий импульс должен иметь противоположную (по сравнению с первым управляющим импульсом) полярность, а его величина  $I$  должна обеспечивать напряженность  $H$  магнитного поля, равную коэрцитивной силе  $H_c$  магнитотвердого материала [см. диаграмму  $H(t)$ ]. На временных

диаграммах это состояние соответствует моменту времени  $t_5$ . В этот момент времени имеет место полное размагничивание магнитотвердого материала, т.е. текущее значение  $B_T$  достигает значения  $B_T=0$ , а магнитные проницаемости  $\mu_T$  магнитотвердого и  $\mu_M$  магнитомягкого материалов, магнитные сопротивления  $R_T$  магнитотвердого,  $R_M$  магнитомягкого материалов,  $R_\delta$  воздушного зазора и суммарное магнитное сопротивление  $R_\Sigma$  магнитопровода, магнитные индукции  $B_T$  магнитотвердого,  $B_M$  магнитомягкого материалов, магнитный поток  $\Phi$ , притягивающая сила  $F$  и величина воздушного зазора  $\delta$  претерпевают изменения, которые по своему характеру обратны изменениям, описанным в интервале времени от  $t_1$  до  $t_2$ , если не учитывать перемагничивания ферромагнитных материалов магнитопровода, т.е. если не учитывать особенности перемагничивания магнитомягкого материала сердечника и магнитотвердого материала вставки. Текущее значение магнитного потока  $\Phi=0$  и описанные значения остальных параметров характеризуют второе устойчивое состояние магнитопровода.

На временной диаграмме  $I(t)$  отображено начало действия в момент времени  $t_7$  второго управляющего импульса тока в обмотке катушки намагничивания, обеспечивающего еще одно, третье по счету, устойчивое состояние магнитопровода, аналогичное устойчивому состоянию, описанному в интервале от  $t_3$  до  $t_4$  с тем, однако, отличием, что вектор магнитного потока  $\Phi$  при этом имеет направление, противоположное описанному в интервале времени от  $t_3$  до  $t_4$ . Для получения такого (третьего по счету) устойчивого состояния необходимо подать в обмотку катушки намагничивания управляющий импульс, полярность которого противоположна той, которая имеет место в интервале времени от  $t_1$  до  $t_2$ , с амплитудой, достаточной для перемагничивания магнитотвердого материала, т.е. с амплитудой большей, чем  $H_c$  (см. на фиг. 2 временную диаграмму  $H(t)$  в интервале времени от  $t_4$  до  $t_6$ ). Временные зависимости параметров, отображенные на фиг. 2 в интервале времени от  $t_3$  до  $t_4$ , будут такими же, как и в интервале времени от  $t_1$  до  $t_2$ , но с тем, однако, отличием, что напряженность магнитного поля  $H$ , магнитный поток  $\Phi$ , магнитные индукции  $B_T$  магнитотвердого и  $B_M$  магнитомягкого материалов будут иметь здесь противоположную полярность.

Заявленный электромагнит (фиг. 5-16) работает следующим образом.

При подаче напряжения на обмотку 4 катушки намагничивания и возбуждения в ней магнитного потока  $\Phi$  в составном магнитопроводе электромагнита, происходит притягивание подвижного якоря 1 магнитной системы к неподвижному статору 2, независимо от полярности поданного управляющего напряжения. Этот магнитный поток

обеспечивает притягивание якоря 1 магнитной системы к статору 2 с преодолением усилия, создаваемого возвратной пружиной 10 и тем самым минимизирует воздушный зазор  $\delta$  магнитопровода электромагнита. После замыкания магнитной цепи магнитный поток  $\Phi$  в замкнутом магнитопроводе закольцовывается. После снятия напряжения с обмотки 4 катушки намагничивания магнитный поток  $\Phi$ , аккумулированный в магнитотвердой вставке, продолжает удерживать домены ориентированными вдоль магнитных силовых линий. Максимальное удерживающее усилие зависит от исходного импульса катушки 4 и объема материала магнитотвердой вставки 3. После механического разрыва магнитной цепи домены граничных слоев магнитотвердой вставки 3 частично переориентируются, что соответствует остаточной намагниченности материала магнитотвердой вставки. Вследствие этого величина удерживающего усилия  $F$  электромагнита снижается примерно на порядок. Полное "обнуление" магнитного потока в материале магнитотвердой вставки 3 соответствует случаю примерно равного, т.е. примерно поровну, разделения доменов с взаимогасящимися магнитными потоками в магнитопроводе заявленного электромагнита. Магнитотвердая вставка 3 из сплава "Алнико" после намагничивания в составном замкнутом магнитопроводе становится по своему удерживающему усилию на порядок мощнее, чем такая же вставка, намагниченная вне замкнутой магнитной цепи.

Магнитный поток в составном магнитопроводе обеспечивает минимизацию воздушного зазора  $\delta$  в магнитопроводе, т.е. минимизацию величины эквивалентного магнитного сопротивления составного магнитопровода, и последующее затем перемагничивание магнитотвердого материала составного магнитопровода, это перемагничивание обеспечивает "запоминание" магнитного потока в обесточенном состоянии обмотки 4 катушки намагничивания. Такое "запоминание" магнитного потока объясняется тем, что магнитотвердая вставка 3 представляет собой поликристалл или псевдомонокристалл в случае анизотропного материала с гексогональной структурой, самопроизвольно разбитый на домены, в котором магнитный поток целиком замыкается внутри простейшего образца (фиг. 17-21), а вне его магнитное поле на торцевых поверхностях элементов магнитопровода практически полностью исчезает. У поверхности образца между доменами возникают граничные слои конечной толщины. В их объеме по определенному закону происходит поворот вектора намагниченности  $I_s$  от его ориентации в одном домене к его ориентации в другом. На образование граничного слоя затрачивается некоторая "граничная", или поверхностная, энергия, величина которой значительно меньше объемной энергии, исчезающей при образовании

закольцовывающегося поля образца. Таким образом, образование доменной структуры – это эффект самозакрывания ферромагнитных тел при напряженности  $H_{\text{внеш}} = 0$ . Наличие же при  $H_{\text{внеш}} = 0$  остаточной намагниченности  $I_R$  в образцах (в случае постоянных магнитов) можно объяснить влиянием внутренних дефектов в структуре кристалла, затрудняющих процесс закрывания, т.е. при этом происходит неполная компенсация результирующего магнитного момента всего образца и наличие поля рассеяния в местах выхода слоев. Монокристаллы, имеющие плоскопараллельную доменную структуру (см. фиг. 19), состоят из чередующихся областей, направления намагниченности в которых антипараллельны. В этих случаях наряду с основными доменами А, Б, В, Г, ... имеются так называемые замыкающие домены а, б, в, г, д, ... граничного слоя.

Если поместить “размагниченный” ферромагнитный образец с доменной структурой во внешнее магнитное поле, он “намагничивается”, т.е. домены с направлением намагниченности, более близким к направлению напряженности внешнего магнитного поля будут разрастаться за счет “поедания” объема своих, менее выгодно намагниченных, соседей. Этот процесс осуществляется за счет смещения граничных слоев между доменами. Одновременно с этим в доменах будет происходить поворот вектора  $I$ , намагниченности к направлению внешнего магнитного поля – процесс вращения. Характер смещения границ доменов и вращения вектора намагниченности в них определяют вид зависимости результирующей намагниченности ферромагнитных образцов или их магнитной индукции от внешнего магнитного поля, т.е. определяют форму кривой намагничивания.

Если поместить образец магнитотвердого материала в объемно-замкнутую магнитную цепь магнитопровода, образованного из магнитомягкого материала, то после воздействия внешним магнитным полем, граничные слои образца открываются, противоположно направленные домены образца переориентируются в соответствии с внешним магнитным полем и моделируется простейшая доменная структура, отображенная на фиг. 17, 18. То есть в этом случае магнитотвердая вставка фиксируется в состоянии с открытыми граничными слоями доменов и переориентированными основными доменами, а функции замыкающих доменов после прекращения подачи импульса тока в обмотку катушки намагничивания переходят к деталям якоря и статора, размещенным перпендикулярно направлению внешнего магнитного потока – см. фиг. 20 и 21.

Заявленные конструкции позволяют сочетать положительные качества магнитомягкого материала, кривая намагниченности которого характеризуется большой магнитной восприимчивостью (проницаемостью), определяющей увеличение

намагниченности (индукции) в слабых полях, имеет очень узкую петлю гистерезиса, ничтожно малую коэрцитивную силу, большую остаточную намагниченность, близкую к намагниченности насыщения, с достоинствами магнитного материала, являющегося стабильным источником сильного поля с максимально широкой (близкой к прямоугольной) петлей гистерезиса, т.е. с высокой коэрцитивной силой и остаточной намагниченностью, близкой к намагниченности насыщения.

МДС в магнитомягком и магнитотвердом материалах суммируются.

После механического разрыва магнитной цепи составного магнитопровода на торцевых поверхностях магнитопровода возникают размагничивающие полюса, и вставка 3 возвращается в состояние, соответствующее остаточной намагниченности, т.е. ферромагнитный материал становится биполярным постоянным магнитом, т.е. магнитотвердая вставка переходит из состояния с максимальной намагниченностью (граничные слои открыты) в состояние остаточной намагниченности (граничные слои закрыты), величина которой на порядок меньше.

Возврат якоря 1 в исходное положение обеспечивают кратковременным импульсом тока во встречно намотанную обмотку, либо импульсным напряжением обратной полярности с расчетной амплитудой, либо расчетной длительностью по току, либо серией затухающих импульсных колебаний, либо действием возвратной пружины.

Расчетным и экспериментальным путем автор подтвердил существенную эффективность заявленной группы изобретений, которая обеспечена как за счет энергосбережения, а также за счет резкого снижения аварийных отказов и увеличения срока безотказной работы коммутирующих устройств, т.е. за счет увеличения наработки на отказ, так и за счет существенного расширения функциональных возможностей использования заявленных вариантов конструкции электромагнита.

Заявленное изобретение обеспечивает следующий технический результат при его использовании:

- Заявленный электромагнит работает как в цепях переменного тока, так и постоянного тока;
- Заявленный электромагнит обеспечивает, меньшей мере, два устойчивых энергонезависимых состояния магнитопровода;
- Магнитопровод заявленного электромагнита может быть выполнен из нелигированной стали;

- Заявленный электромагнит обеспечивает существенное (на порядок) увеличение тягового усилия либо существенное уменьшение площади поперечного сечения и существенное уменьшение массо-габаритных показателей, а также снижение металлоемкости по меди в 3÷5 раз и по магнитомягкому металлу (стали) – в 7÷10 раз:

- Снижение инерционности и повышение быстродействия электромагнита;
- Снижение наклепа элементов магнитопровода и повышение износостойкости;
- Повышение срока службы исполнительных контактов коммутационной электроаппаратуры;

- Увеличение удерживающего усилия заявленного электромагнита с магнитотвердой вставкой составного магнитопровода, например, из сплава ЮН13ДК24, которое более чем в 3 раза превышает удерживающее усилие, обеспечиваемое постоянным магнитом в случае разомкнутого несоставного магнитопровода тех же размеров, выполненным из сплава редкоземельного металла, ниодим (Nd), железо (Fe) и бор (B). По имеющимся у автора сведениям, до сих пор такой результат мог быть достигнут только при глубоком охлаждении магнитотвердого материала;

- Существенное расширение функциональных возможностей заявленной конструкции, в том числе за счет возможности его использования в коммутационной электроаппаратуре, в электромагнитных муфтах сцепления для передачи крутящих моментов, в тормозных механизмах и т.п. конструкциях.

Указанные выше преимущества заявленного изобретения в сравнении с известными техническими решениями, их признаки и свойства обобщенно представлены в таблице 2, где приняты следующие обозначения:

- Аналог 1 – техническое решение из немецкой заявки DE № 19639545;
- Аналог 2 – техническое решение из европатента EP № 0794540;
- Аналог 3 – техническое решение из международной заявки PCT/UA 00/00005.

Анализ данных таблицы 2 и вышеуказанных сведений подтверждает соответствие заявленной группы изобретений критериям охраноспособности, а именно критериям “новизна”, “изобретательский уровень” и “промышленная применимость”.

Кроме того, заявленная группа изобретений отвечает принципу единства изобретения, поскольку один из объектов заявленной группы, а именно конструкция электромагнита, предназначен для использования другого объекта, а именно способа управления магнитным потоком в магнитопроводе электромагнита.

**ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ, ПРИНЯТЫЕ ВО ВНИМАНИЕ**

1. DE №19639545 A<sub>1</sub> от 18.12.1997 г., ICON AG PRAZISIONSTECINIC [1];
2. EP 0794540 A<sub>1</sub> от 10.09.1997 г., HARTING KGaA, CNJK, TW 2 CNIJRB - ПРОТОТИП [2];
3. DE № 19639545 A<sub>1</sub> от 18.12.1997 г., ICON AG PRAZISIONSTECINIC [3];
4. EP 0794540 A<sub>1</sub> от 10.09.1997 г., HARTING KGaA, CNJK, TW 2 CNIJRB [4];
5. PCT/UA00/00005 H01F 7/16, 7/124, E05B 47/02, 03.02.2000 г., Бабич Н.С. - ПРОТОТИП [5];
6. ГОСТ 17809-72. Материалы магнитотвердые литые. М., Госстандарт, 1986, с. 4-5;
7. А.Д.Смирнов, К.М.Антипов. Справочная книжка энергетика. М., Энергоатомиздат, 1987, с. 254.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ управления магнитным потоком электромагнита с релейной тяговой характеристикой, определяемой устойчивыми уровнями значений магнитного потока в составном магнитопроводе, который, по меньшей мере, частично выполнен из магнитотвердого материала, путем подачи управляющих импульсов электрического тока в обмотку катушки намагничивания с возможностью получения удерживающего усилия подвижной части магнитопровода, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что используют магнитотвердый материал, обладающий способностью сохранять при перемагничивании, по меньшей мере, два устойчивых состояния намагниченности, а в качестве управляющих импульсов электротока в обмотку намагничивания составного магнитопровода электромагнита подают два кратковременных импульса противоположной полярности, при этом при подаче первого импульса обеспечивают замыкание магнитной цепи магнитопровода и минимизацию магнитного сопротивления магнитопровода за счет минимизации воздушного зазора магнитопровода с последующей максимизацией магнитного потока в магнитопроводе и с его переходом в одно из устойчивых состояний, характеризующихся максимальным значением магнитного потока в магнитопроводе, соответствующим энергии управляющего импульсного воздействия, с возможностью пребывания составного магнитопровода электромагнита в этом устойчивом состоянии и обеспечения удерживающего усилия до подачи другого управляющего импульса электротока противоположной полярности, энергетическая характеристика которого по величине достаточна для перевода магнитопровода в другое устойчивое состояние, характеризующееся другой, соответствующей ему, величиной магнитного потока и другой, соответствующей ему, величиной удерживающего усилия.

2. Способ по п. 1, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что подачу первого управляющего импульса тока в обмотку катушки намагничивания с последующей максимизацией магнитного потока в составном магнитопроводе осуществляют после минимизации воздушного зазора.

3. Способ по п. 1, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что подачу первого управляющего импульса тока в обмотку катушки намагничивания с последующей максимизацией магнитного потока в составном магнитопроводе осуществляют до минимизации воздушного зазора.

4. Способ по п. 1, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что величину управляющего магнитного потока в составном магнитопроводе электромагнита за счет первого управляющего импульса электротока в обмотке катушки намагничивания электромагнита до замыкания магнитной цепи магнитопровода обеспечивают на уровне ее оптимального значения, необходимого для создания рабочего тягового усилия электромагнита, и поддерживают его на этом уровне до намагничивания материала магнитопровода, после чего снимают электрическое импульсное напряжение с обмотки катушки намагничивания, а удерживающее усилие электромагнита обеспечивают за счет "магнитной памяти" материала составного магнитопровода с возможностью получения при этом удерживающего усилия, величина которого составляет

$F \leq 0,98F_{\max}$ , где  $F_{\max}$  – максимальное значение магнитного потока, создаваемого обмоткой катушки намагничивания.

5. Способ по п. 1, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что необходимую мощность управляющих импульсов с возможностью обеспечения необходимого удерживающего усилия электромагнита обеспечивают за счет изменения параметров управляющих импульсов, выбираемых из ряда, состоящего из амплитуды импульса, его длительности, его формы, их комбинации.

6. Способ по п. 1, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что в обмотку катушки намагничивания подают второй управляющий импульс тока с иной энергетической характеристикой в сравнении с характеристикой первого управляющего импульса и обеспечивают переход намагниченности магнитопровода в другое устойчивое состояние, характеризующее соответствующей величиной магнитного потока в составном магнитопроводе и соответствующей величиной удерживающего усилия.

7. Способ по п. 6, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что обеспечивают переход магнитопровода в устойчивое состояние, характеризующее величиной магнитного потока в магнитопроводе, равной нулю, путем подачи в обмотку катушки намагничивания управляющего импульса тока, обеспечивающего напряженность магнитного поля в магнитопроводе, равную коэрцитивной силе на кривой намагничивания, и соответствующую величину удерживающего усилия.

8. Способ по п. 7, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что одним из устойчивых состояний составного магнитопровода является его исходное состояние, характеризующее магнитным потоком, величина которого равна исходному значению, и соответствующим ему значением удерживающего усилия.

9. Способ по п.7, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что мощность  $P_2$  второго управляющего импульса тока противоположной полярности в 2÷5 раз меньше мощности  $P_1$  первого управляющего импульса тока прямой полярности и составляет  $P_1=(2÷5)P_2$ .

10. Способ по п. 1, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что длительности  $t_1$  первого управляющего импульса электротока прямой полярности в обмотке катушки намагничивания и, соответственно, магнитного потока в составном магнитопроводе электромагнита прямой полярности и  $t_2$  второго управляющего импульса обратной полярности не превышают

утроенной величины постоянной времени  $\tau$  переходного процесса для массы подвижной части магнитопровода, т.е.  $t_1 \leq 3\tau$  и  $t_2 \leq 3\tau$ , где  $\tau$  - постоянная времени переходного процесса.

11. Способ по п. 1, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что в качестве первого управляющего импульса тока в обмотку катушки намагничивания подают импульс в виде серии периодических модулированных импульсов, амплитуда и/или огибающая которых нарастает от нулевого значения.

12. Способ по п. 1, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что в качестве второго управляющего импульса тока в обмотку катушки намагничивания подают импульс в виде серии периодических модулированных импульсов, амплитуда и/или огибающая которых затухает до нулевого значения.

13. Электромагнит электромагнитного привода исполнительного устройства, выполненный в виде, по меньшей мере, одной катушки намагничивания на составном магнитопроводе с неподвижным статором, подвижным якорем и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, при этом, по меньшей мере, частично магнитопровод выполнен в виде вставки из магнитотвердого материала с возможностью управления магнитным потоком в магнитопроводе путем его перемещения за счет подачи кратковременных разнополярных импульсов тока в обмотку катушки намагничивания. **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитного потока при минимизации воздушного зазора вследствие возвратно-поступательного линейного перемещения якоря, при этом статор выполнен в виде плоского основания с закрепленной на нем, по меньшей мере, одной вставкой из магнитотвердого материала, а якорь выполнен в виде стальной пластины, по меньшей мере, с двумя стержнями, прикрепленными к ней торцами.

14. Электромагнит по п. 13, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что он дополнительно снабжен прерывателем тока в обмотке катушки, выполненном в виде нормально

замкнутых контактов, включенных последовательно в цепь питания обмотки катушки намагничивания и снабженных переключателем контактов, с выполненным в центре основания отверстием для прохождения переключателя контактов, при этом якорь снабжен толкателем контактов, который прикреплен к якорю и снабжен, по меньшей мере, одной возвратной пружиной.

15. Электромагнит по п.13, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что якорь выполнен в виде пластины П-образной в продольном сечении формы, к которой своими торцами прикреплены боковые стержни, а статор – в форме бруска, снабженного вставкой из магнитотвердого материала.

16. Электромагнит по п. 13, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что магнитопровод выполнен в виде двух пластин, по меньшей мере, двух стержней и, по меньшей мере, одной вставки из магнитотвердого материала, при этом якорь выполнен П-образной в продольном сечении формы в виде одной из пластин и двух стержней, прикрепленных к ней торцами, а статор - в виде второй пластины, на которой закреплена, по меньшей мере, одна вставка из магнитотвердого материала.

17. Электромагнит по п. 13, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что магнитопровод выполнен в виде двух пластин, к одной из которых прикреплена, по меньшей мере, одна вставка из магнитотвердого материала, и, по меньшей мере, трех стержней, прикрепленных верхними торцами ко второй пластине с образованием якоря Ш-образной в продольном сечении формы и с возможностью замыкания магнитной цепи при минимизации воздушного зазора.

18. Электромагнит по п. 17, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что якорь выполнен Ш-образной в продольном сечении формы, при этом, по меньшей мере, две катушки намагничивания размещены предпочтительно на крайних стержнях якоря с возможностью создания согласованных магнитных потоков в центральном стержне.

19. Электромагнит по п. 18, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что магнитопровод дополнительно снабжен катушкой намагничивания, размещенной на центральном стержне якоря, обмотка которой включена согласованно с обмотками катушек намагничивания, размещенными на крайних стержнях.

20. Электромагнит по п. 19, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что обмотка одной из катушек намагничивания включена встречно.

21. Электромагнит электромагнитного привода исполнительного устройства, выполненный в виде, по меньшей мере, одной катушки намагничивания на составном магнитопроводе с неподвижным статором, подвижным якорем, и, по меньшей мере, с

одним воздушным зазором, при этом, по меньшей мере, частично магнитопровод выполнен в виде вставки из магнитотвердого материала с возможностью управления магнитным потоком в магнитопроводе путем его перемагничивания за счет подачи кратковременных разнополярных импульсов тока в обмотку катушки намагничивания. **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитного потока при минимизации воздушного зазора вследствие возвратно-поступательного поворотного перемещения якоря по дуге и при этом содержит корпус, выполненный в форме диска, на котором размещена, по меньшей мере, одна магнитная система, в форме сегмента, преимущественно кругового, в котором выполнен канал-паз с коаксиально размещенными в плане по дуге, преимущественно окружности, боковыми стенками, катушка намагничивания размещена в корпусе, а якорь размещен в канале-пазе и выполнен в виде снабженного шляпкой и возвратной пружиной стержня, изготовленного по форме паза с возможностью возвратно-поступательного перемещения в нем, при этом вставка из магнитотвердого материала установлена на дне канала-паза и прикреплена к его стенке, ортогональной направлению перемещения якоря и ограничивающей его перемещение.

22. Электромагнит электромагнитного привода исполнительного устройства, выполненный в виде, по меньшей мере, одной катушки намагничивания на составном магнитопроводе с неподвижным статором, подвижным якорем, и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, при этом, по меньшей мере, частично магнитопровод выполнен в виде вставки из магнитотвердого материала с возможностью управления магнитным потоком в магнитопроводе путем перемагничивания магнитопровода за счет подачи двух кратковременных разнополярных импульсов тока в обмотку катушки намагничивания, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитного потока при минимизации воздушного зазора вследствие возвратно-поступательного линейного перемещения якоря относительно статора. статор выполнен в виде стакана, снабженного, по меньшей мере, одним стержнем. часть которого выполнена из магнитотвердого материала, и который одним своим торцом прикреплен к днищу стакана, а другой его, свободный, торец выполнен в одной плоскости с торцом цилиндра, при этом, по меньшей мере, одна из катушек намагничивания охватывает стержень, а якорь размещен снаружи стакана и выполнен в виде пластины с возможностью замыкания магнитной цепи при минимизации воздушного зазора вследствие перемещения якоря относительно статора.

23. Электромагнит по п. 22, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что в качестве якоря использованы конструктивные элементы металлолома и/или груза.

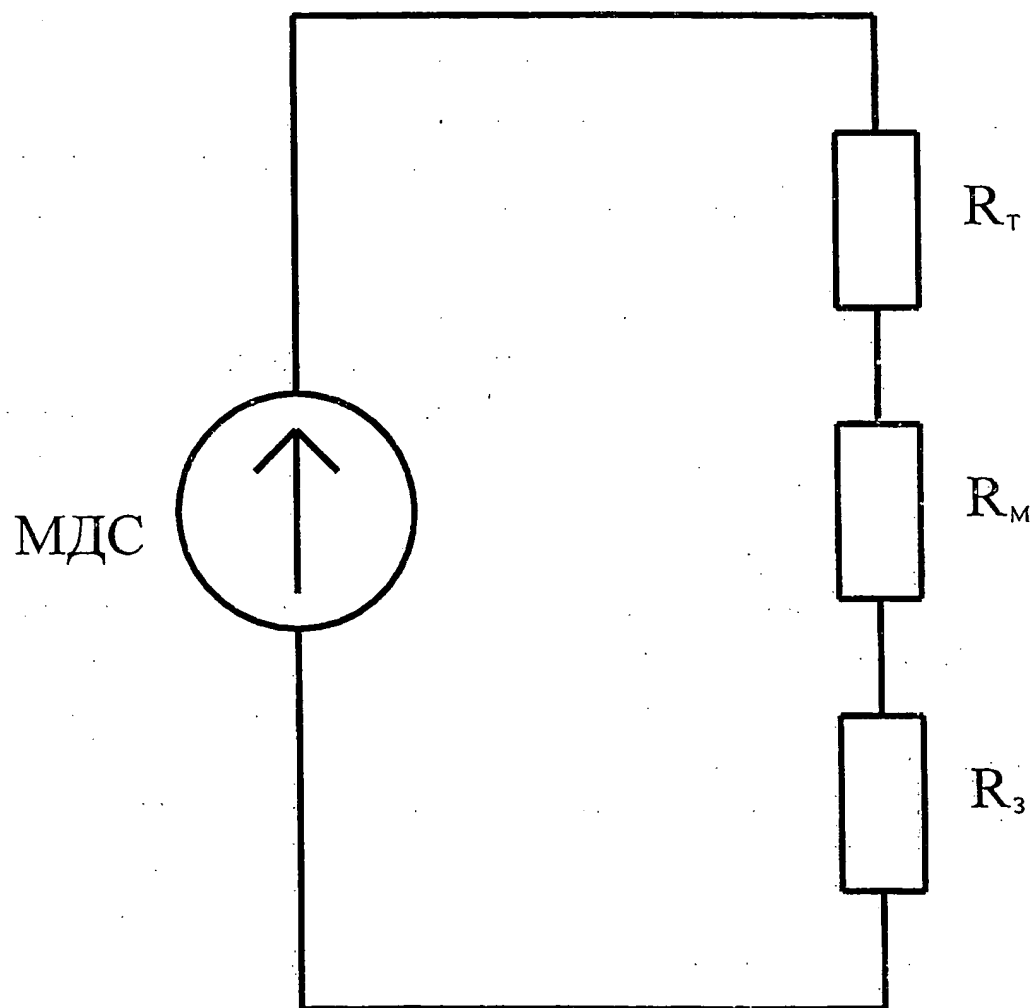
24. Электромагнит по п. 22, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитного потока при минимизации воздушного зазора вследствие вращательного перемещения якоря относительно статора, якорь выполнен в виде пластины с возможностью замыкания стакана крышкой, образования объемно-замкнутой магнитопроводящей конструкции "стакан-крышка" и с возможностью изменения момента силы трения между якорем и статором.

25. Электромагнит электромагнитного привода исполнительного устройства, выполненный в виде, по меньшей мере, одной катушки намагничивания на составном магнитопроводе с неподвижным статором, подвижным якорем, и, по меньшей мере, с одним воздушным зазором, при этом, по меньшей мере, частично магнитопровод выполнен в виде вставки из магнитотвердого материала с возможностью управления магнитным потоком в магнитопроводе путем перемещения магнитопровода за счет подачи двух кратковременных разнополярных импульсов тока в обмотку катушки намагничивания, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что магнитопровод выполнен с возможностью замыкания магнитного потока при минимизации воздушного зазора вследствие линейного и/или вращательного перемещения якоря относительно статора, при этом статор магнитопровода выполнен в форме стакана, во внутренней полости которого коаксиально размещена катушка намагничивания, и дно которого выполнено из магнитотвердого материала, а якорь выполнен в виде крышки стакана, прикрепленной к торцу стержня, коаксиально размещенного во внутренней полости катушки, при этом магнитопровод выполнен с возможностью замыкания стакана крышкой с одновременным касанием свободным торцом стержня дна стакана, образованием объемно-замкнутой магнитопроводящей конструкции "стакан – крышка – стержень – дно стакана" и с возможностью изменения момента силы трения между якорем и статором.

26. Электромагнит по п. 25, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что, дно стакана выполнено из магнитотвердого материала с прослойкой из магнитомягкого материала с наружной стороны стакана с возможностью увеличения площади сечения дна стакана перпендикулярного направлению магнитного потока.

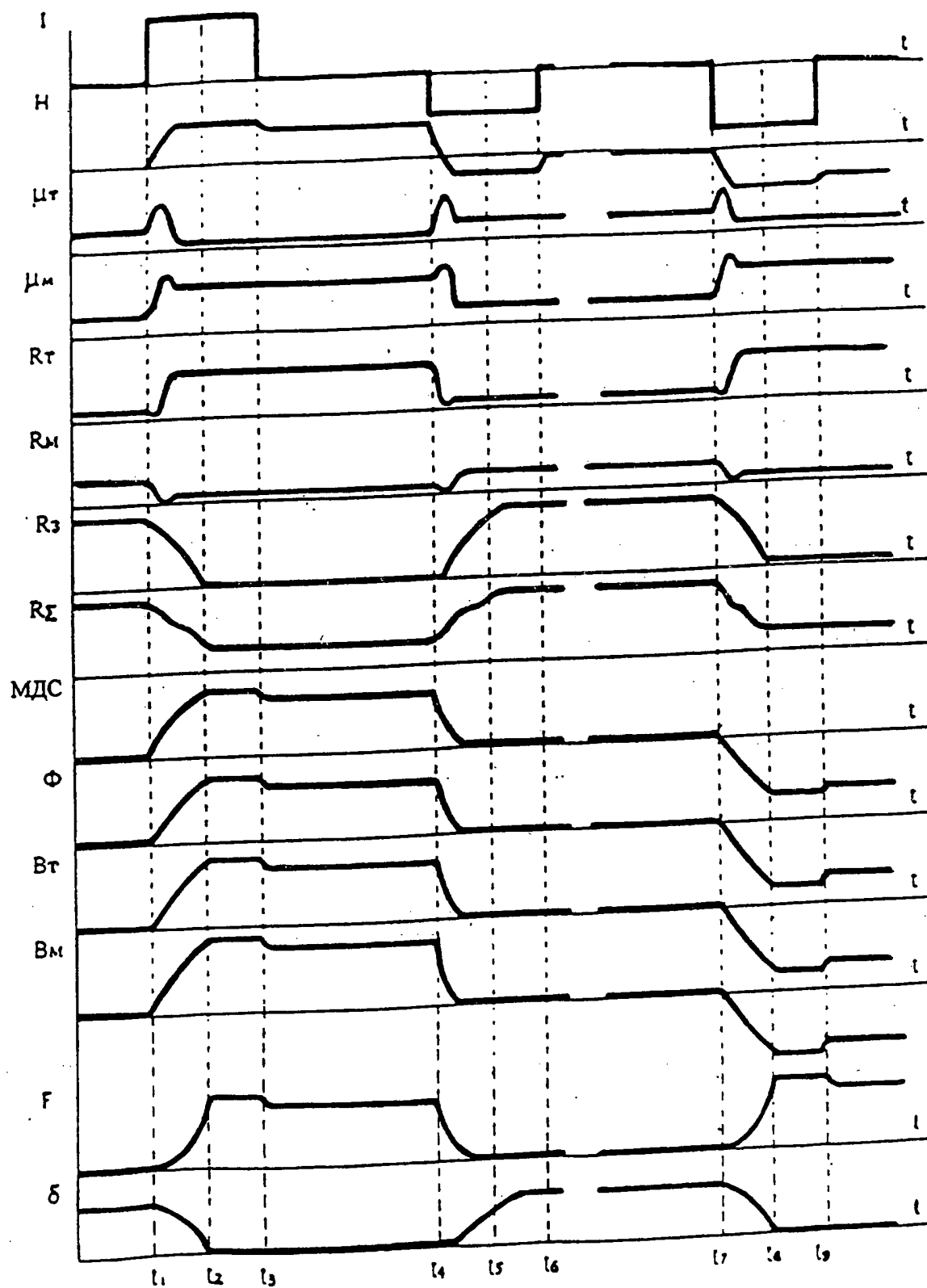
27. Электромагнит по п. 25, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что дно стакана, по крайней мере, частично выполнено в виде вставки из магнитомягкого материала.

28. Электромагнит по п. 25, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что, по крайней мере, частично стенки стакана выполнены в виде вставки из магнитотвердого материала.



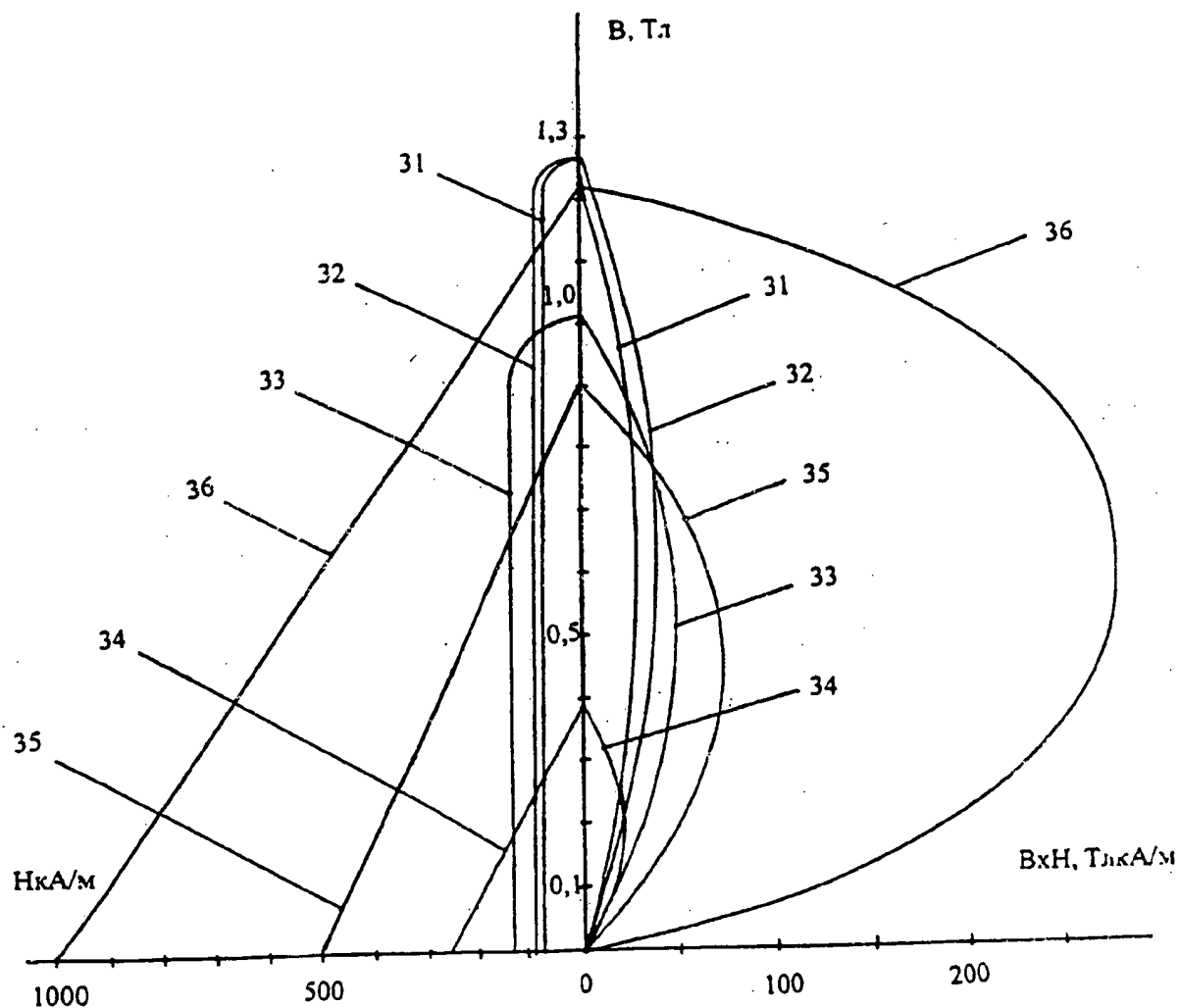
Фиг. 1

2/16



Фиг. 2

3/16



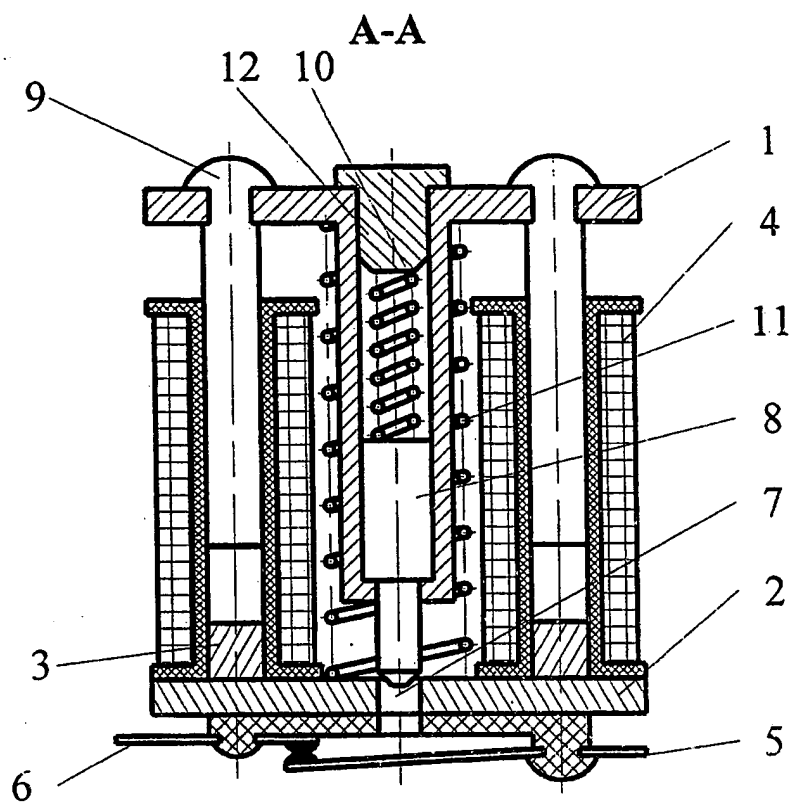
Фиг. 3

Таблица 1

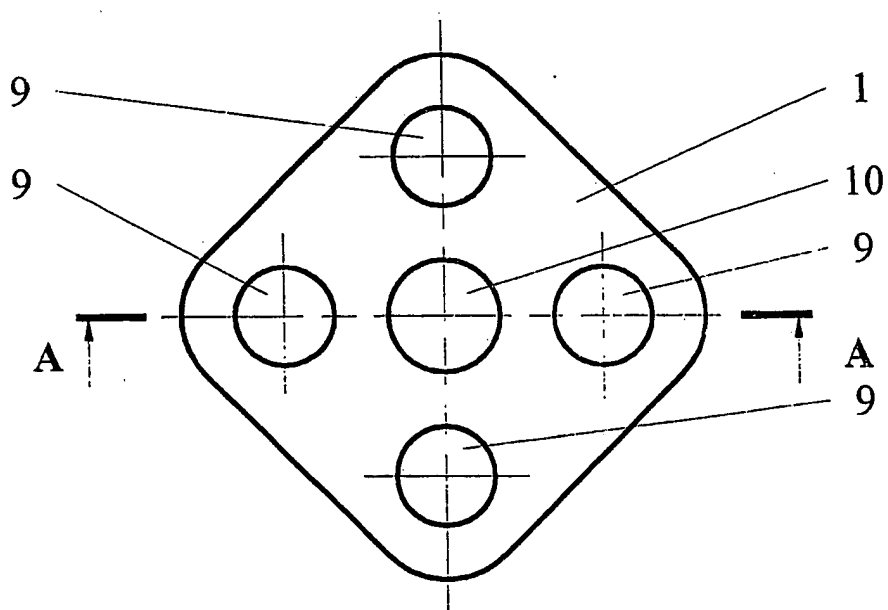
Ферромагнетики	Остаточная индукция, В, Тл	Коэрцитивная сила Hс, кА/м	Максимальная индукция Вмах. при H=50 кА/м
Магнитотвердые [4]:			
ЮНД8	0,6	44	1,0-1,5
ЮНДК15	0,75	48	
ЮНДК18С	1,10	44	
ЮН13ДК24	1,25	40	
ЮН13ДК25	1,40	44	
ЮН14ДК25	1,35	52	
Магнитомягкие [5]:			
1211	<0,1	<0,5	2,2
1311			2,1
1411			2,1
1511			2,0

Фиг. 4

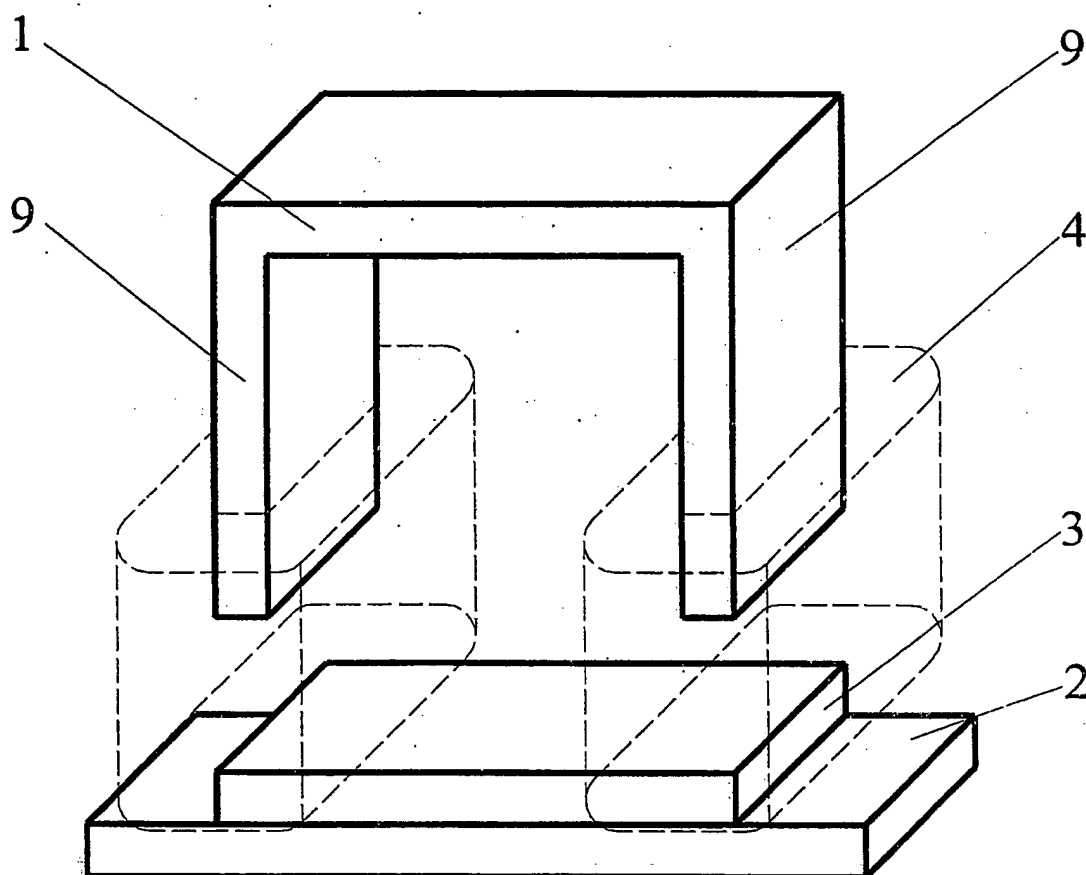
5/16



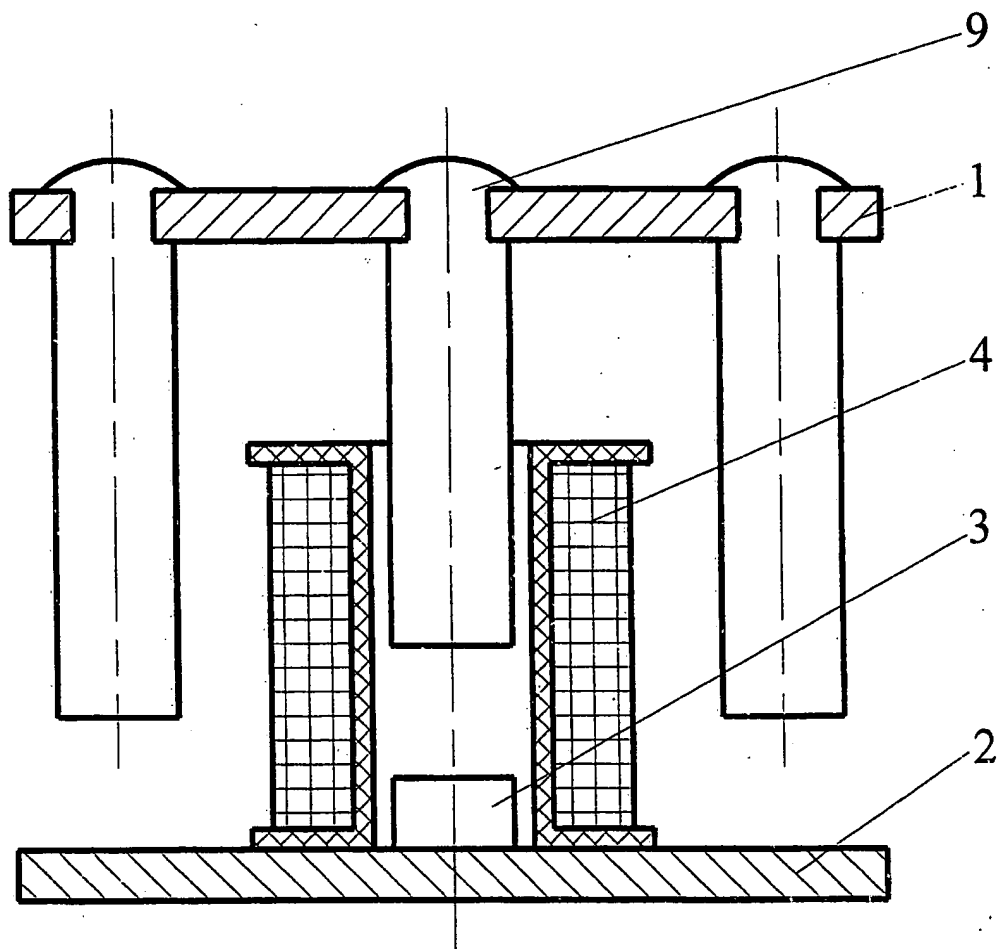
Фиг. 5



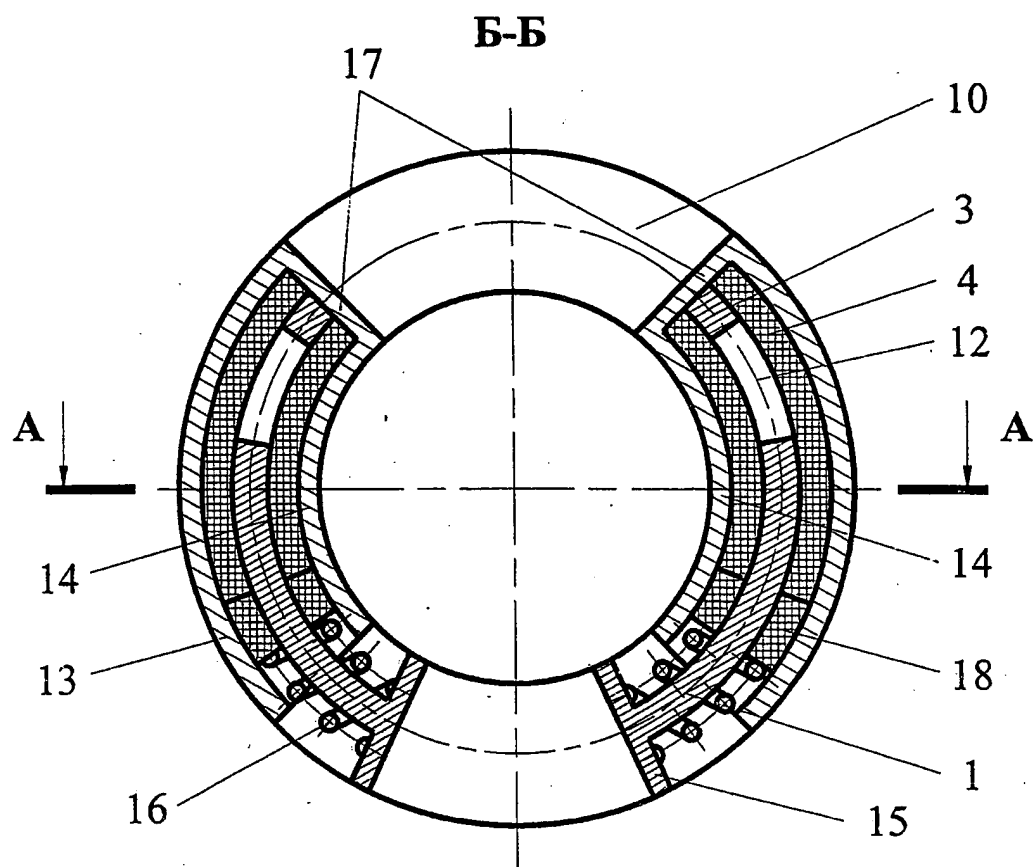
Фиг. 6



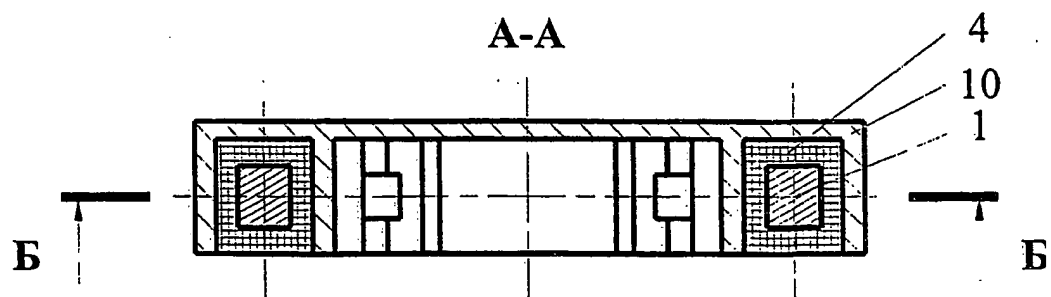
Фиг. 7



Фиг. 8

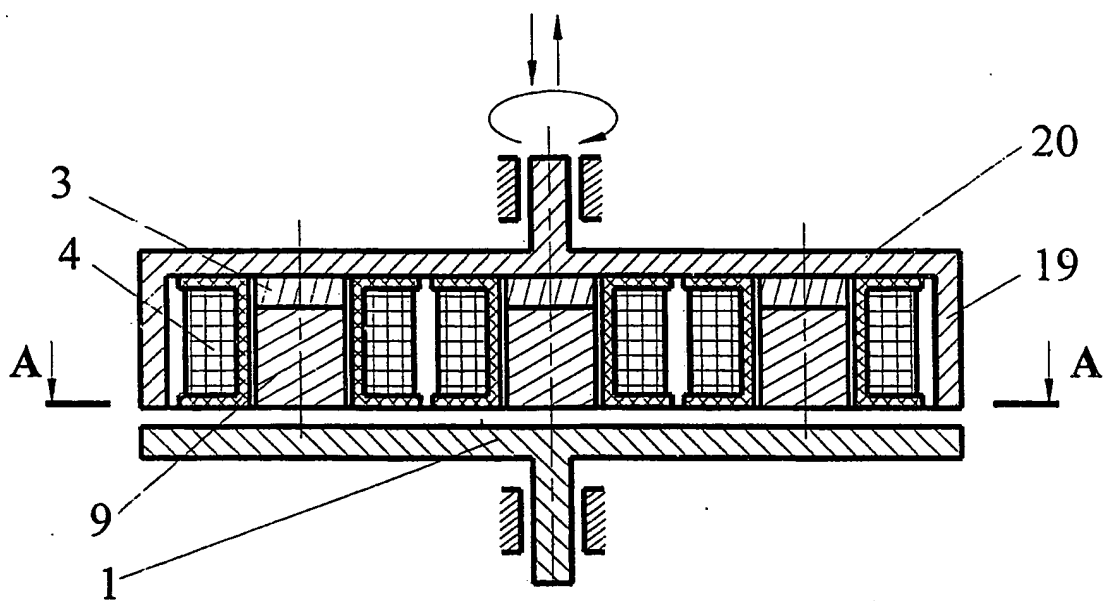


Фиг. 9



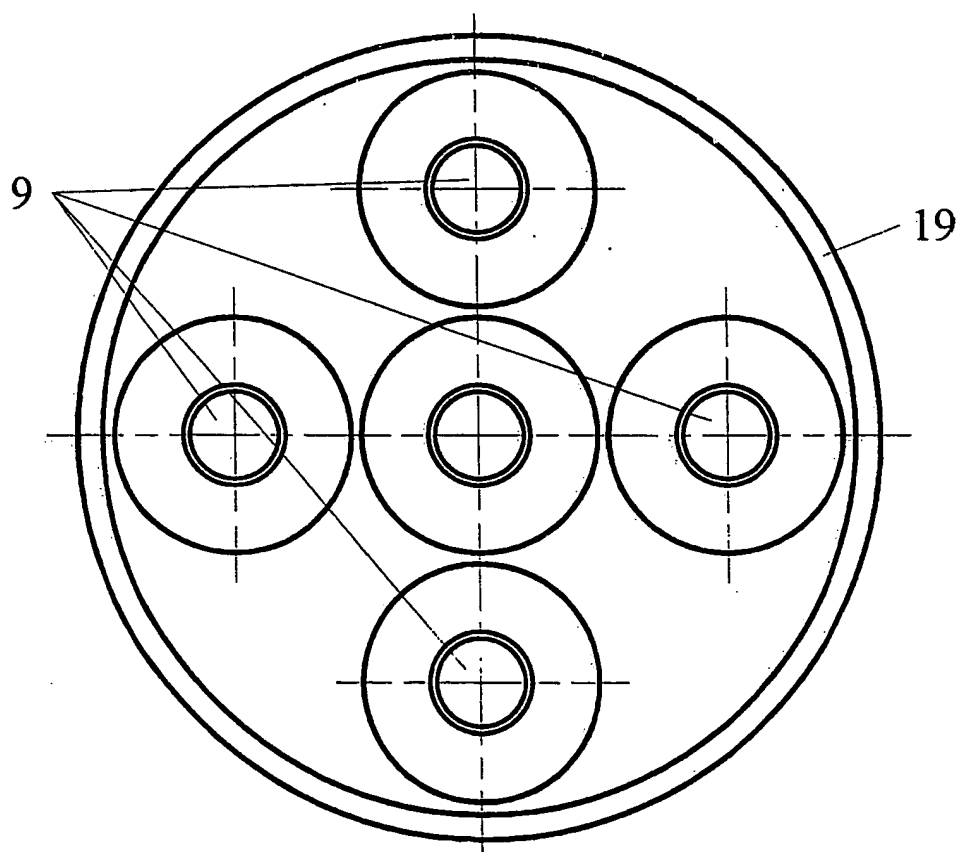
Фиг. 10

9/16

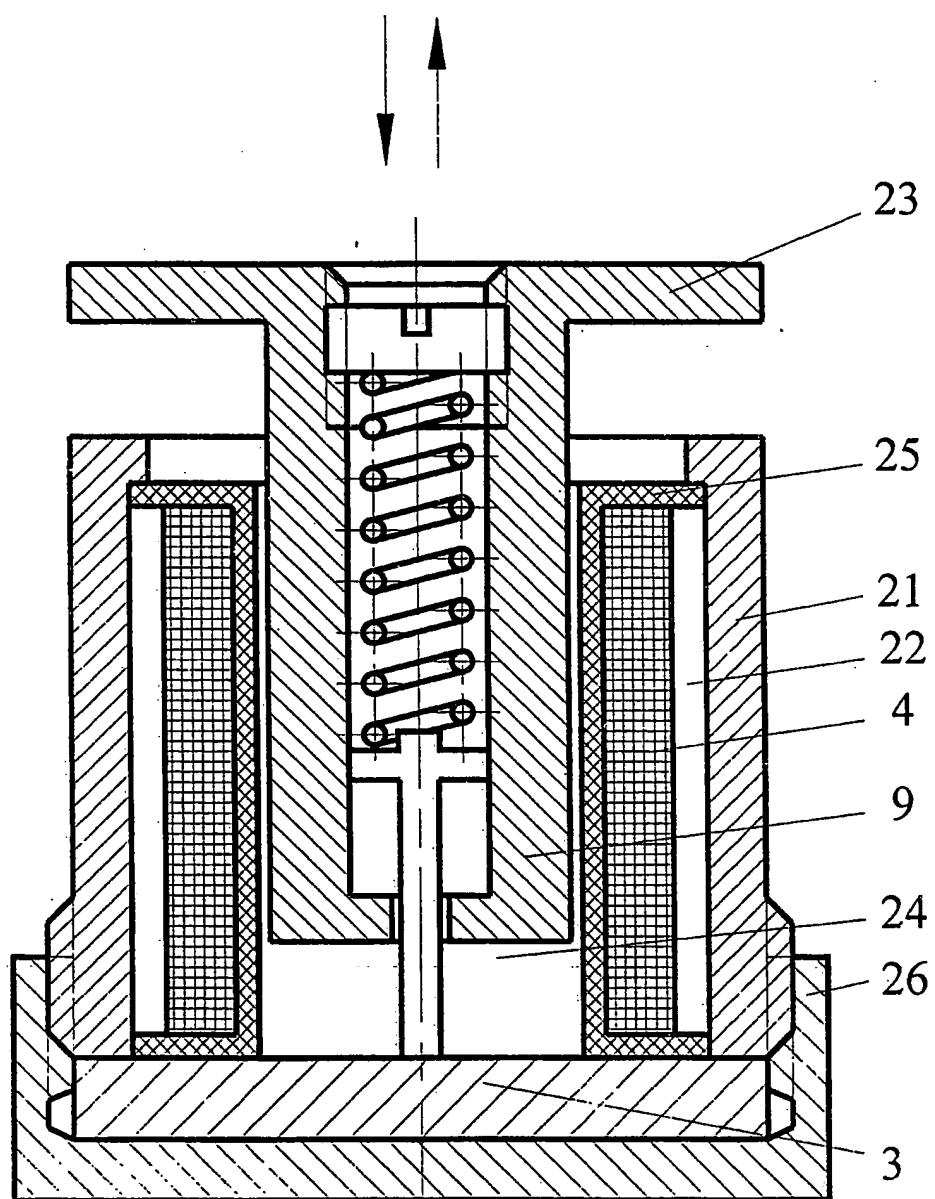


Фиг. 11

A-A

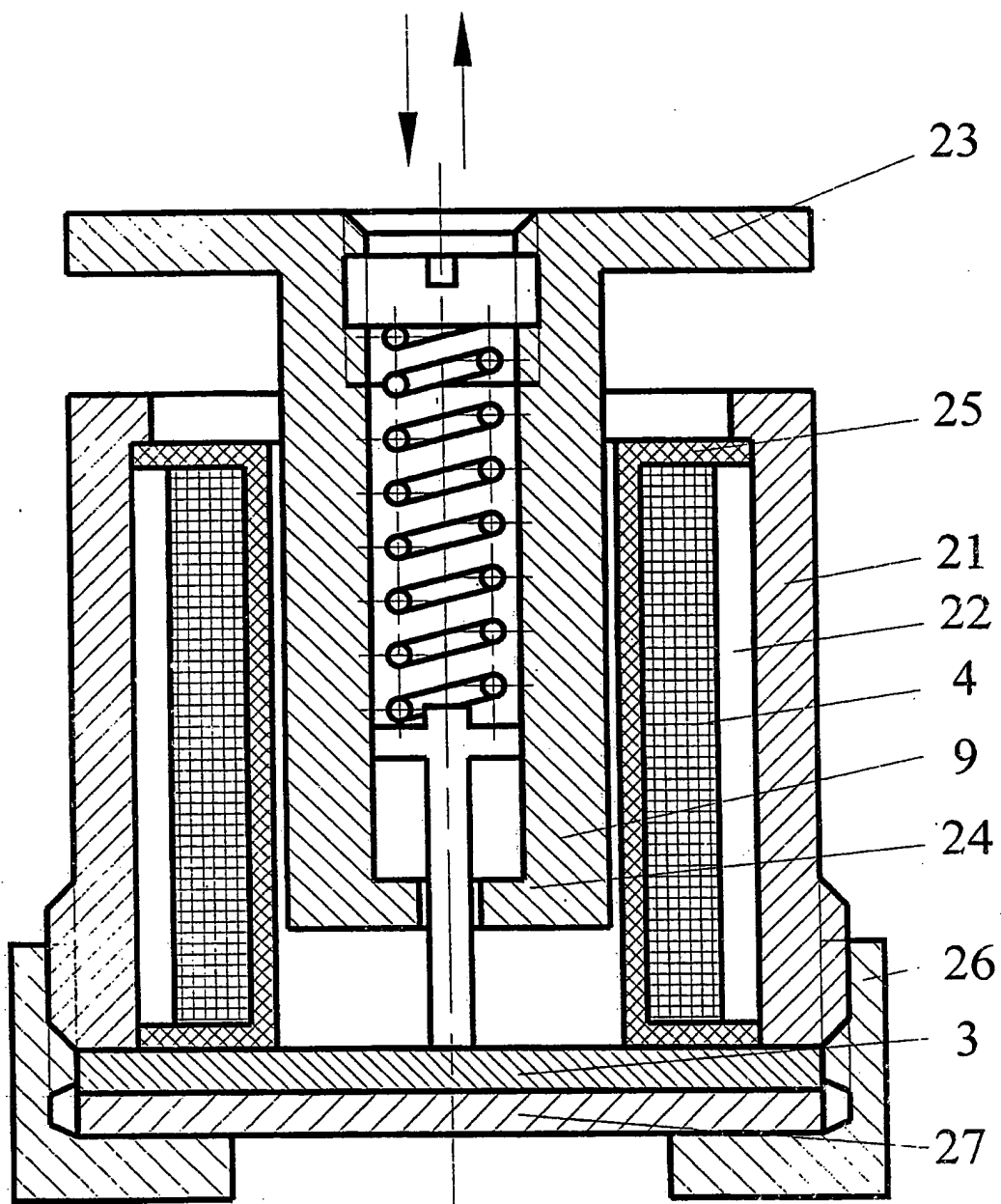


Фиг. 12

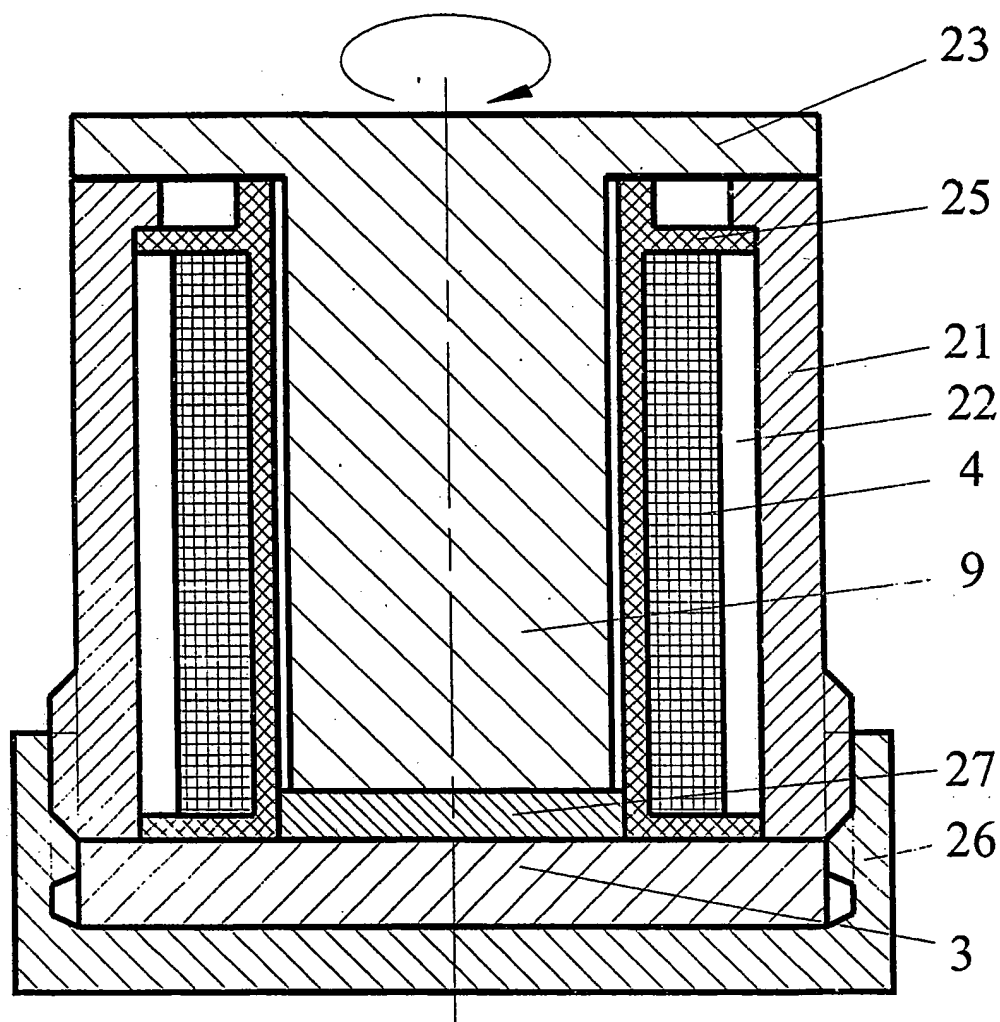


Фиг. 13

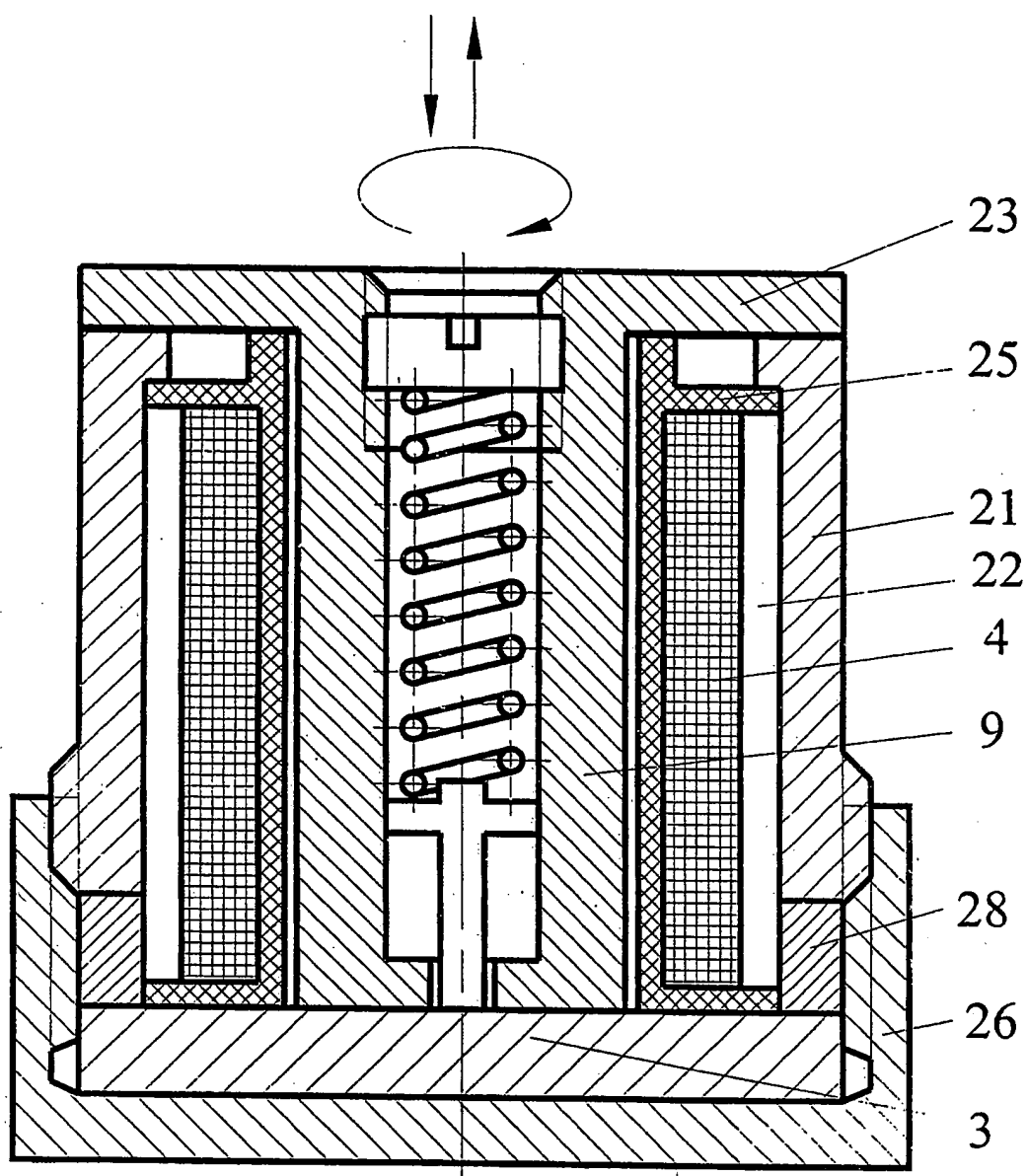
11/16



Фиг. 14

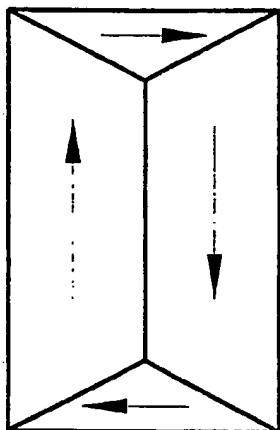


Фиг. 15

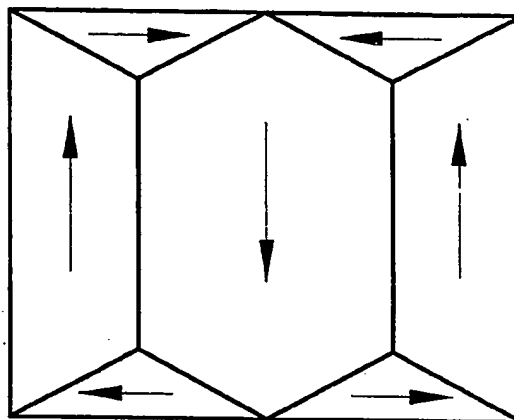


Фиг. 16

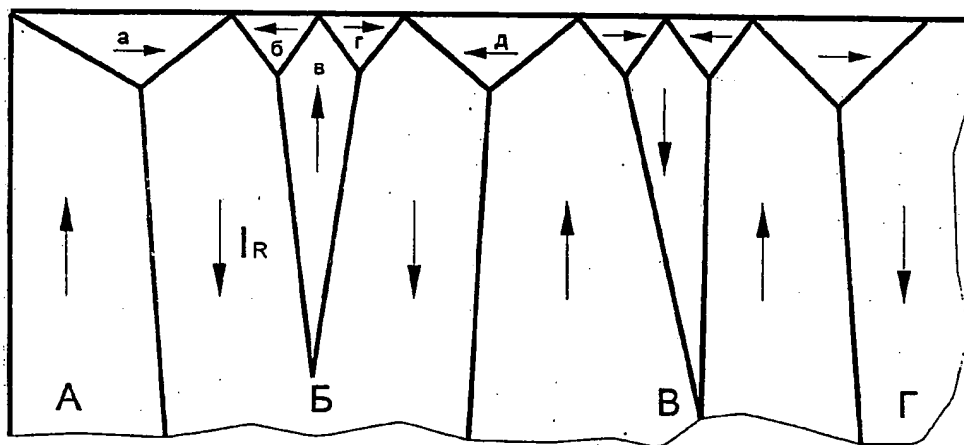
14/16



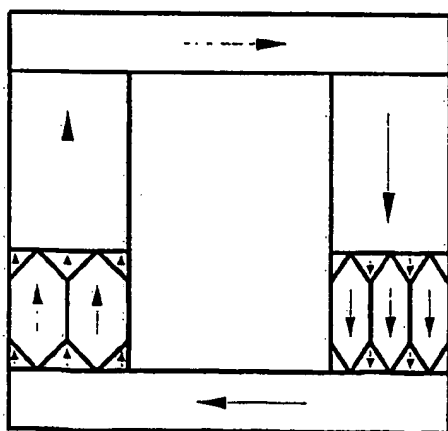
Фиг. 17



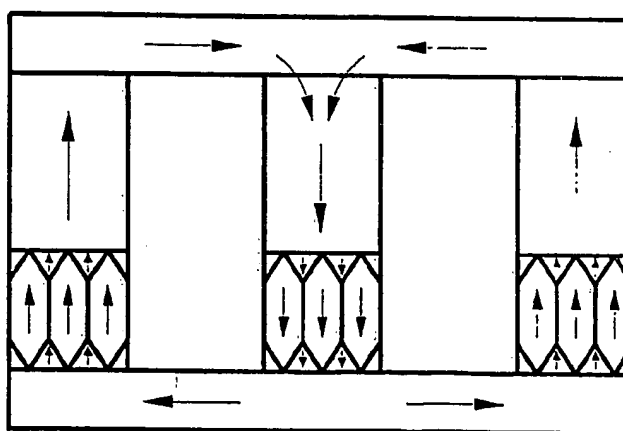
Фиг. 18



Фиг. 19



Фиг. 20



Фиг. 21

Таблица 2

Существенные признаки и свойства	Заявленное решение	Аналог 1	Аналог 2	Аналог 3
1. Минимизация воздушного зазора	+	-	-	+
2. Наличие замкнутой магнитной цепи	+	-	-	+
3. Наличие составного магнитопровода	+	-	+	+
4. Отсутствие параллельных веток (областей) магнитной цепи, вследствие чего магнитный поток полностью проходит через магнитотвердую вставку	+	-	-	+
5. $\alpha=0$ и $\cos\alpha=1$	+	-	-	+
6. Использование магнитотвердых материалов с минимальной энергией на перемагничивание	+	-	-	+
7. Сохранение "магнитной памяти"	+	-	-	+
8. Способность работы в цепях как переменного, так и постоянного электротока	+	+	+	+
9. Наличие, по меньшей мере, двух устойчивых энегронезависимых состояний магнитопровода электромагнита	+	-	-	+
10. Возможность выполнения магнитопровода из дешевой, легкообрабатываемой нелегированной стали типа Ст.3, Ст.10, Ст.20 и т.п.	+	-	-	+
11. Существенное (на порядок) увеличение притягивающего и/или удерживающего усилия F электромагнита	+	-	-	-
12. Существенное (в несколько раз) снижение металлоемкости	+	+	-	+
13. Существенное улучшение массогабаритных показателей	+	+	-	+
14. Увеличение быстродействия магнитной системы	+	+	-	+
15. Уменьшение наклепа металлических элементов магнитопровода и повышение износостойкости	+	-	-	+
16. Существенное повышение срока службы контактов исполнительных устройств	+	-	-	+
17. Существенное повышение удерживающего усилия в сравнении с разомкнутым несоставным магнитопроводом	+	-	-	-
18. Существенное расширение функциональных возможностей электромагнита	+	-	-	-
19. Существенная экономия энергозатрат	+	+	+	+

Фиг. 22

16/16

Таблица 3

Марка	магнитная индукция, В,		напряженность, Н <sub>св</sub>		(ВН) <sub>max</sub>		Т <sub>раб</sub>	Отношение В/Н в точке (ВН) <sub>max</sub> •10 <sup>-3</sup> Тл • м • кА <sup>-1</sup>
	мТл	Gs	кА/м	Ое	кДж/м <sup>3</sup>	МГОе		
LNG13	700	7000	48	600	12.7	1.6	540	14,6
LNG37	1200	12000	48	600	36.9	4.6	540	25,0
LNG40	1250	12500	48	600	39.8	5.0	540	26,0
LNG44	1250	12500	52	650	43.8	5.5	540	24,0
LNG52	1300	13000	56	700	51.7	6.5	540	23,2
LNGT28	1000	10000	56	720	27.9	3.5	540	17,9
LNGT38	800	8000	110	1380	37.8	4.7	540	7,3
LNGT60	900	9000	110	1380	59.7	7.5	540	8,2
LNGT72	1050	10500	111	1400	71.6	9.0	540	9,5
LNGT36J	700	7000	139	1750	35.8	4.5	540	5,0

Фиг. 23

Таблица 4

Марка	магнитная индукция, В,		напряженность, Н <sub>св</sub>		(ВН) <sub>max</sub>		Т <sub>раб</sub>	Отношение В/Н в точке (ВН) <sub>max</sub> •10 <sup>-3</sup> Тл • м • кА <sup>-1</sup>
	мТл	Gs	кА/м	Ое	кДж/м <sup>3</sup>	МГОе		
FLNG12	700	7000	40	500	11.9	1.5	540	17,5
FLNG14	500	5000	60	750	14.3	1.8	540	8,3
FLNG28	1050	10500	46	580	27.9	3.5	540	22,8
FLNG34	1120	11200	47	595	34.2	4.3	540	23,8
FLNG26	900	9000	56	700	26.3	3.3	540	16,1
FLNGT18	650	6500	80	1000	18.3	2.3	540	8,1
FLNGT31	780	7800	107	1340	31.0	3.9	540	7,3
FLNGT36	680	6800	135	135	35.8	4.5	540	5,0
FLNGT38	800	8000	123	123	38.2	4.8	540	6,5

Фиг. 24

Таблица 5

Марка	Отношение В/Н в точке (ВН) <sub>max</sub> •10 <sup>-3</sup> , Тл • м • кА <sup>-1</sup>
ЮНД4	12,0-16,0
ЮНД8	13,0-16,0
ЮНТС	7,0-10,0
ЮНДК15	15,5-18,0
ЮНДК18	15,0-20,0
ЮНДК18С	22,0-28,0
ЮН13ДК24С	30,0-33,0
ЮН13ДК24	25,0-27,5
ЮН14ДК24	20,0-22,0
ЮН15ДК24	15,0-17,5
ЮН13ДК25А	27,5-30,0
ЮН14ДК25А	24,0-25,0
ЮН13ДК25БА	26,5-27,5
ЮН14ДК25БА	21,5-24,0
ЮН15ДК25БА	16,5-21,5
ЮНДК34Т5	8,0-11,0
ЮНДК35Т5Б	8,0-10,0
ЮНДК35Т5	7,0-8,0
ЮНДК35Т5БА	8,0-9,0
ЮНДК35Т5АА	8,0-9,0
ЮНДК38Т7	4,5-5,5
ЮНДК40Т8	3,5-4,5
ЮНДК40Т8АА	4,0-5,0

Фиг. 25

# ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №  
PCT/UA 02/00068

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ: H01F 7/08, 7/122, 7/14, 7/16		
Согласно международной патентной классификации (МПК-7)		
В. ОБЛАСТИ ПОИСКА:		
Проверенный минимум документации (система классификации и индексы) МПК-7: H01F 7/00, 7/06-7/11, 7/121-7/124, 7/13-7/17		
Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:		
Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, поисковые термины):		
С. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:		
Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
X Y A	WO 00/48207 A2 (БАБИЧ НИКОЛАЙ СЕРГЕЕВИЧ) 17 августа 2000, стр. 13, строки 1-23, стр. 17, строки 3-23, стр. 23, строки 4-14, фиг. 2 стр. 18, строки 20-31, фиг. 5	1-3, 5-6, 22 13-19, 23 4, 7-12, 20-21, 24-28
Y	В.С. КАЛИНКИН и др. Подъемные электромагниты. Москва, Гос. научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1962, стр. 5-7, рис. 1	23
Y	US 6057750 A (CHIH-SHENG SHENG) May 2, 2000	13-19
Y	US 4502031 A (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) Feb. 26, 1985, кол. 1, строки 20-39	14
Y	SU 1390647 A1 (ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ) 23.04.1988	18-19
A	DE 19906445 A1 (SCHUSTER, HEINZ-PETER) 31. 8.2000	21
<input type="checkbox"/> последующие документы указаны в продолжении графы С. <input type="checkbox"/> данные о патентах-аналогах указаны в приложении		
* Особые категории ссылаемых документов: А документ, определяющий общий уровень техники Е более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее О документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д. Р документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета и т.д. Т более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения Х документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну и изобретательский уровень Y документ, порочащий изобретательский уровень в сочетании с одним или несколькими документами той же категории & документ, являющийся патентом-аналогом		
Дата действительного завершения международного поиска: 18 апреля 2003 (18.04.2003)		Дата отправки настоящего отчета о международном поиске: 07 мая 2003 (07.05.2003)
Наименование и адрес Международного поискового органа Федеральный институт промышленной собственности РФ, 123995, Москва, Г-59, ГСП-5, Бережковская наб., 30,1 Факс: 243-3337, телетайп: 114818 ПОДАЧА		Уполномоченное лицо:  Е. Плиткина  Телефон № 240-25-91